



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE MASTER

---

CARACTERIZACIÓN DE LA ISLA DE LA CALOR URBANA (ICU)  
MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES OBTENIDAS POR SATÉLITE,  
PROCESADAS MEDIANTE SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO  
QGIS. APLICACIÓN AL CASO DE VALENCIA

---

*Presentado por*

Cuesta Navarro, Juncal

---

*Para la obtención del*

Master Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

*Curso: 2019/2020*

*Fecha: Junio 2020*

*Tutor: María Salomé Moreno Navarro*

*Cotutor:*

*Página en blanco*

## ÍNDICE

OBJETIVOS.....	5
ASIGNATURAS DEL MÁSTER RELACIONADAS.....	5
PALABRAS CLAVE.....	5
INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO .....	6
Realidad urbana y global.....	6
El clima y el papel de las ciudades .....	7
DEFINICIÓN, ESTUDIOS Y MODELIZACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA (ICU). ESTADO DEL ARTE	
11	
Isla de calor urbana. Definición, causas y efectos.....	11
Estudios y modelizaciones de la ICU .....	17
Estrategias de mitigación de la ICU .....	29
ÁREA DE ESTUDIO .....	33
METODOLOGÍA. OBTENCIÓN DE DATOS Y HERRAMIENTAS DE TRABAJO.....	42
Información del Ayuntamiento de Valencia .....	42
Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) .....	44
MODIS. Temperatura superficial terrestre (LST).....	44
Usos del suelo. CORINE .....	49
Superficie sellada. Copernicus .....	50
Ortofotografía 2018 y ejes de carreteras.....	51
QGIS. Sistema de Información Geográfica (SIG) libre de código abierto .....	53
Procedimiento .....	55
RESULTADOS .....	75
CONCLUSIONES .....	79
RIESGOS Y LIMITACIONES.....	80
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	81
REFERENCIAS.....	83
GLOSARIO – SIGLAS .....	92
LISTADO DE PLANOS.....	93



ANEXO I   TABLAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS POR ESTACIONES Y RESUMEN ANUAL .....	95
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Densidad edificatoria en la ciudad de Hong Kong.....	6
Figura 02. Efectos del cambio climático a escala global .....	8
Figura 03. Termómetro plaza Alfonso el Magnánimo mostrando altas temperaturas en la ciudad de Valencia durante un día caluroso en el mes de julio. ....	9
Figura 04. Aumento de los niveles de CO <sub>2</sub> atmosférico en el tiempo.....	10
Figura 05. Esquema gráfico explicativo de la isla de calor urbana.....	11
Figura 06. Calor y polución generados por la actividad humana en las ciudades .....	12
Figura 07. Efectos de la urbanización sobre el clima a diferentes escalas.....	13
Figura 08. Esquema de las capas térmicas urbanas sobre perfil urbano.....	14
Figura 09. Representación gráfica del perfil térmico de la ICU sobre perfil urbano.....	15
Figura 10. Esquema de flujos de energía en un edificio, una habitación y una persona .....	16
Figura 11. La vegetación como herramienta de control de temperatura en las ciudades .....	18
Figura 12. Velocidad del viento en la superficie en función de la rugosidad del terreno.....	18
Figura 13. Balance de energía sobre superficies urbanas.....	19
Figura 14. Metodologías empleadas en el estudio de la ICU .....	20
Figura 15. Herramientas para toma de datos remota en áreas urbanas.....	21
Figura 16. Modelización de temperatura a escala ciudad .....	23
Figura 17. Patrones espaciales de (A) SUHII diurno de verano, (B) SUHII nocturno de verano, (C) SUHII diurno de invierno y (D) SUHII nocturno de invierno promediados durante el período 2003-2008 en 419 grandes ciudades.....	24
Figura 18. Representación gráfica de los flujos de energía en superficies vegetales.....	29
Figura 19. Albedo o capacidad de reflectancia de la radiación solar sobre diferentes materiales .....	30
Figura 20. Ejemplo de cubierta verde. ....	31
Figura 21. Ejemplo de diseño urbano. ....	32
Figura 22. Fotografía aérea de los Jardines del Turia en la ciudad de Valencia.....	33
Figura 23. Mapa histórico de la ciudad. ....	34
Figura 24. Ortofotografía de la ciudad en la actualidad. ....	34



Figura 25. Perfil urbano de la ciudad de Valencia.....	35
Figura 26. Valores de días cubiertos en la ciudad de Valencia serie 1981-2010. ....	36
Figura 27. Valores climatológicos medios. Ciudad de Valencia .....	37
Figura 28. Valores climatológicos medios. Ciudad de Valencia .....	37
Figura 29. Valencia y entorno. Temperatura de la Superficie Terrestre nocturna 16/01/2019 .	38
Figura 30. Ejemplo de perfil térmico N-S de Valencia y alrededores, el día 13 de febrero de 1989. El efecto de “isla térmica nocturna” de la ciudad es de unos 8°C, diferencia entre los 4º C de la periferia rural y los cerca de 12°C del centro de la ciudad .....	39
Figura 31. Evolución de los patrones térmicos espaciales de la ciudad de Valencia durante un día con brisa .....	40
Figura 32. Información básica del centro de datos norteamericano Land Processes Distributive Active Archive Center (DAAC) .....	45
Figura 33. Captura de pantalla de la web de descarga de datos del programa Copérnico, con indicación del cuadrante usado para el estudio .....	51
Figura 34. Captura de pantalla del programa QGIS. A la derecha el Panel de capas, donde se listan las capas utilizadas, tanto vectoriales como ráster.....	53
Figura 35. Captura de pantalla de herramienta Diseñadores de impresión de QGIS, mediante la que se han elaborado los planos de este trabajo. ....	54
Figura 36. Esquema de trabajo. Comparativa de bases de datos, indicando el dato, su origen y su tipología. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 37. Evolución de la población de la ciudad de Valencia entre 1996 y 2019. ....	64
Figura 38. Comparador de ortofotografías zona norte Benicalap. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.....	65
Figura 39. Comparador de ortofotografías zona Ciudad de las Artes y eje Avda. de Francia. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.....	66
Figura 40. Comparador de ortofotografías zona sur, barrio de Patraix. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015. ....	66
Figura 41. Comparador de ortofotografías zona norte, Beniferri. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.....	67
Figura 42. Cuadrante de MODIS de fecha 08/07/2019 con indicación del área de estudio.....	69
Figura 43. Objeto ráster con datos insuficientes en el área de estudio. ....	70
Figura 44. Imagen MODIS-TERRA LST 11/06/2018 antes y después de usar la herramienta “Rellenar sin datos” .....	72
Figura 45. Configuración de las propiedades de capa de las capas ráster de LST de MODIS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Evolución de la población en la ciudad de Valencia entre 1857 y 2011.....	43
Tabla 02. Resumen de los productos de datos sobre temperatura superficial de la Tierra (LST) de MODIS .....	47
Tabla 03. Conjunto de datos científicos (SDS) de MODIS MOD11A1, con indicación de las utilizadas en el trabajo para el estudio de la ICU de Valencia. ....	48
Tabla 04. Estaciones, equinoccios y solsticios 2018-2019 para el hemisferio norte. ....	49
Tabla 05. Resumen de las capas y bases de datos utilizadas, con indicación de sus características. ....	52
Tabla 06. Agrupación y clasificación de los usos del planeamiento de la ciudad .....	59
Tabla 08. Agrupación y clasificación de los usos del suelo. ....	61
Tabla 09. Asignación de valores de coeficientes a las superficies según grado de sellado para el cálculo de la superficie sellada total. ....	63
Tabla 10. Comparativa de la superficie sellada y población de la ciudad de Valencia. Años 1988-2018.....	63
Tabla 11. Cantidad de datos útiles para el estudio de la ICU, una vez filtrados. ....	71
Tabla 12. Porcentaje de datos útiles para el estudio de la ICU sobre el total analizado. ....	71
Tabla 13. Listado de planos.....	94
Tabla 14. Temperaturas primavera 2018   20 marzo 2018 – 21 junio 2018 .....	95
Tabla 15. Temperaturas verano 2018   21 junio 2018 – 23 septiembre 2018 .....	95
Tabla 16. Temperaturas otoño 2018   23 septiembre 2018 – 21 diciembre 2018.....	95
Tabla 17. Temperaturas invierno 2018-2019   21 diciembre 2018 – 20 marzo 2019 .....	95
Tabla 18. Temperaturas media anual 2018-2019   20 marzo 2018 – 20 marzo 2019.....	95

## OBJETIVOS

Organizar los datos obtenidos y representarlos gráficamente mediante el uso de software de código abierto,

De modo que se puedan extraer datos analíticos que sirvan de base para el desarrollo de modelos de estudio de la isla de calor urbana ICU con medios eficientes y gratuitos.

Analizar y caracterizar la (ICU) de la ciudad de Valencia, a través de información gratuita obtenida por sensores remotos de satélite.

## ASIGNATURAS DEL MÁSTER RELACIONADAS

- INTRODUCCIÓN AL URBANISMO
- PLANEAMIENTO URBANÍSTICO Y PROGRAMACIÓN
- DISEÑO URBANO
- MODELOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN DEL TERRITORIO
- METODOLOGÍA Y DOCUMENTACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES
- EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PLANES Y PROYECTOS Y LA INTERVENCIÓN EN EL PAISAJE

## PALABRAS CLAVE

Isla de calor urbana, superficie sellada, temperatura de la superficie terrestre, clima urbano, emergencia climática software de código abierto, modelo



## INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

### Realidad urbana y global

Lefebvre ya anunció el cambio hacia un modelo urbano (Lefebvre, 1976). La contraposición campo-ciudad de principios del siglo XVIII, asociada al despegue económico de la burguesía y su traslado a entornos con mejores condiciones de vida, ha culminado con la concentración de la población en ciudades en Europa. Es un hecho que vivimos en un mundo urbano. Tanto es así que podemos llegar a afirmar que los problemas del mundo actual son los problemas de las ciudades (Capel, 2007).

Más de la mitad de la población mundial vive ya en ciudades. En concreto, en 2018 el porcentaje alcanzaba el 55%; y para el año 2050 se espera que llegue al 68%. Entre las regiones más urbanizadas a nivel mundial se encuentran en América del Norte (donde un 82% de su población reside en ciudades), Latinoamérica y el Caribe (81%), Europa (74%) y Oceanía (68%) (United Nations News, 2017).



Figura 01. Densidad edificatoria en la ciudad de Hong Kong

Fuente: flickr.com. Autor: Carlos Felipe Pardo. Título: Hong Kong Mongkok density  
CC License. <https://www.flickr.com/photos/carlosfpardo/8705796975>





Estudios realizados por la ONU (Organización de Naciones Unidas), afirman que las ciudades ya reúnen a unos 3.500 millones de personas, y una tercera parte de la población mundial vive ya en aglomeraciones de más de 100.000 habitantes (Pozzi, 2010).

Según esta misma fuente, el crecimiento de la población urbana seguirá su curso fundamentalmente debido a la preferencia de la población de trasladarse desde áreas rurales hacia otras urbanas; y al crecimiento de la población esperado para los próximos 35 años.

El desarrollo sostenible global depende en buena medida de las estrategias de crecimiento urbano, es decir, del planeamiento que se proyecta y ejecuta en las ciudades. Una urbanización bien gestionada puede ayudar a mitigar los impactos sobre el medio ambiente; así como tratar de aprovechar las ventajas de la concentración poblacional.

En este sentido, las políticas urbanas cada vez más van encaminadas a adoptar medidas que prioricen la relación entre la ciudad construida, los recursos naturales y la salud humana (Corburn, 2004).

En nuestro país este fenómeno también es claro. Las ciudades experimentan un ritmo de crecimiento intenso, paralelo a la disminución de las cifras de población rural, proceso que ha terminado por acuñar el concepto “España vaciada”, muy en boga en el contexto político y social actual.

Este hecho, sumado al tradicional urbanismo desarrollista de nuestro país, da como resultado una transformación urbana centrada en la creación de nueva ciudad. Los términos municipales de las grandes ciudades se colmatan, y el suelo en origen natural y permeable se convierte en suelo urbanizado y sellado.

### **El clima y el papel de las ciudades**

El clima en la Tierra ha ido experimentando variaciones a lo largo de toda su historia. Sin embargo, la comunidad científica lleva décadas alertándonos sobre un inusual cambio de las condiciones atmosféricas debidas a la acción humana: el denominado cambio climático.



Figura 02. Efectos del cambio climático a escala global

Fuente: World Meteorological Organization, WMO.

Se denomina cambio climático a cualquier alteración que la actividad del ser humano está provocando sobre clima, y que no se ocasionaría de manera natural (Griggs & Noguer, 2002).

El cambio climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo. Las consecuencias de este proceso incluyen desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, y en consecuencia un incremento notable del riesgo de inundaciones, entre otras.

El fuerte aumento de los gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera sí es el causante del aumento de la temperatura global del planeta, que ha ido incrementándose de forma alarmante desde la era industrial.

Los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Además, la crisis económica global de los últimos años ha aumentado la conciencia sobre problemas sociales y ambientales.

En prensa se suceden noticias sobre este asunto. La comunidad científica, apoyada cada vez en mayor medida por la sociedad civil, se afana requerir la implementación de medidas de mitigación urgentes.

La reciente cumbre del clima (COP25) celebrada en Madrid en el mes de diciembre se ha cerrado con cierta sensación amarga ante la falta de compromiso de las principales potencias mundiales de comprometerse a crear un mercado de carbono, o a reducir sus niveles de contaminación de forma drástica. No obstante, como resultado de esta cumbre, cabe destacar que en el texto final se destaque el reconocimiento de la importancia de la acción climática que lleven a cabo los gobiernos, conminándoles a poner en marcha estrategias que limiten los efectos de la emergencia climática.

Si, como hemos indicado en el apartado anterior, la mayor parte de la población ya reside en ciudades, convendremos que el rol de las ciudades en el cambio climático, en términos de mitigación de emisiones, transacciones de créditos de carbono y adaptación a los impactos ocales y regionales, es un tema de creciente importancia, interés y preocupación (Barton, 2009).

En este contexto de hegemonía de las ciudades y de conciencia sobre la transformación que el ser humano genera en el planeta, este trabajo pretende estudiar uno de los fenómenos climáticos de escala local asociados a la actividad humana en las ciudades: la isla de calor urbana (ICU). Esto es, como veremos más adelante, el comportamiento climático y térmico diferenciado entre las zonas urbanizadas con respecto a aquellas que no lo están.



Figura 03. Termómetro plaza Alfonso el Magnánimo mostrando altas temperaturas en la ciudad de Valencia durante un día caluroso en el mes de julio.

Fuente: flickr.com. Autor: Casa Vides Bodega. Título: Valencia on a hot day 23 July 2008.  
CC License. <https://www.flickr.com/photos/28678481@N06/2696385630>

El fenómeno de la isla de calor urbana está relacionado con el clima y el cambio climático. Sin embargo, cabe precisar y hacer hincapié en la escala del mismo, ya que se han encontrado algunas referencias ambiguas en la literatura consultada.

Las ciudades son la principal fuente de emisiones de efecto invernadero, ya que el 85% de CO<sub>2</sub> aportado a la atmósfera por la actividad humana procede de ellas (Alcoforado & Andrade, 2008). Además, son capaces de alterar las condiciones climáticas de su entorno inmediato.

No obstante, cabe precisar que el aumento de la temperatura en las ciudades no parece tener una relación directa con el calentamiento global, ya que las áreas urbanas constituyen únicamente el 1% de la superficie terrestre.

Sin embargo, sí se ha demostrado que existe una relación indirecta entre las ciudades y zonas selladas con el calentamiento global. La actividad humana, fundamentalmente concentrada dentro de las ciudades, y sus emisiones de gases de efecto invernadero, son las causantes del alarmante aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, y representado en el siguiente gráfico:

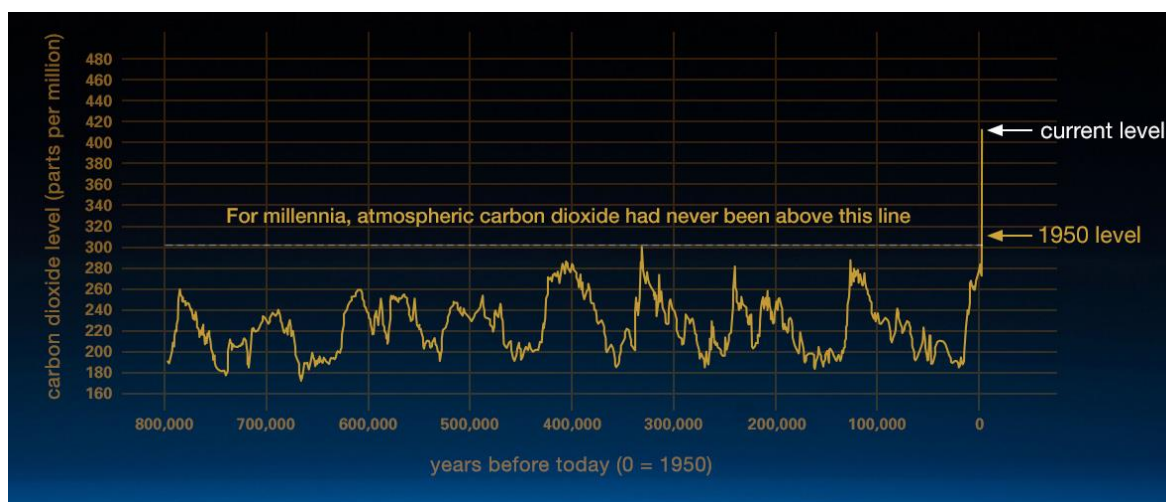


Figura 04. Aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico en el tiempo.

Fuente: [climate.nasa.gov/evidence](https://climate.nasa.gov/evidence)

En definitiva, la isla de calor urbana es un fenómeno de escala local. Es decir, el papel de las ciudades y su área metropolitana circundante urbanizada juegan un papel clave en el clima de su entorno próximo: temperatura, vientos, etc.



## DEFINICIÓN, ESTUDIOS Y MODELIZACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA (ICU). ESTADO DEL ARTE

### Isla de calor urbana. Definición, causas y efectos

Las ciudades han demostrado su capacidad para alterar los parámetros de sus climas locales. Se conoce como “clima urbano” el conjunto de rasgos y modificaciones climáticas inducidas por la existencia y actividad de las ciudades (Pérez Cueva, 2001). En este sentido, no solo la temperatura, sino también otros fenómenos como el régimen de vientos, las heladas y nevadas, la nubosidad, etc., intervienen en este proceso.

La isla de calor urbana (ICU) es el aumento de origen antrópico de las temperaturas de la ciudad en comparación con su entorno inmediato de carácter natural y rural, siendo más intensa dicha diferencia por las noches (Sarricolea et al., 2008).

Luke Howard fue el primer investigador en apuntar que existía una diferencia térmica entre el centro urbano de Londres y los campos de sus alrededores. Cuantificó que la ciudad poseía una temperatura 3,7°F (2,2°C) grados superior durante la noche, mientras que durante el día esta diferencia era mucho menor (Howard, 1818).

Posteriormente, Gordon Manley, ya en la década de los 50, será quien acuñe el término “isla de calor urbana” para denominar al contraste térmico entre lo urbano y lo rural (Manley, 1958).

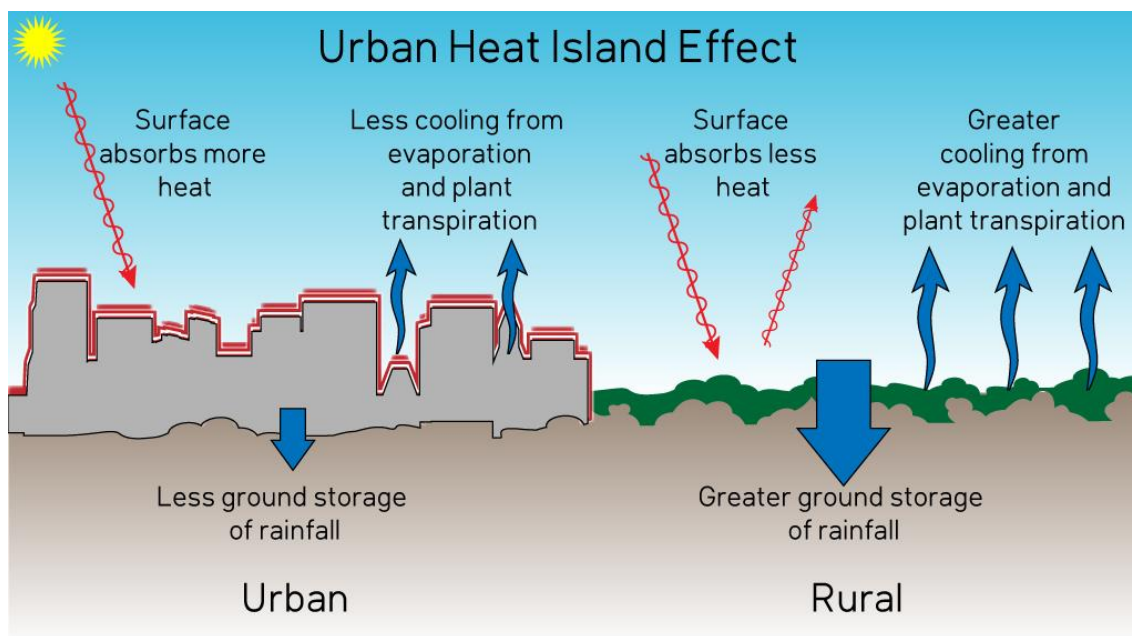


Figura 05. Esquema gráfico explicativo de la isla de calor urbana

Fuente: skepticalscience.com

Desde entonces el concepto ha sido ampliamente estudiado dentro de la literatura del clima urbano, con el objetivo de describirla, caracterizarla y cuantificarla (Oke, 1978; Landsberg, 1981; Voogt et al., 2007; Rosenzweig et al., 2005).

El efecto isla de calor se produce fundamentalmente en las grandes ciudades, y se manifiesta entre otros, con la incapacidad de disipación de calor durante la noche. Los edificios y los pavimentos, como consecuencia de su inercia térmica, desprenden durante las horas nocturnas el calor acumulado durante el día (Farina, 2012).

La isla de calor se debe fundamentalmente a varios factores. En primer lugar, el proceso creciente de urbanización, con el consiguiente aumento de la superficie sellada, y uso de materiales impermeables y de gran inercia térmica como el asfalto, hormigón, ladrillo, etc. (Kondoh, 1999; Golden, 2004; Zhang, 2009; Feng, 2014). El crecimiento urbano modifica drásticamente los patrones espaciales de cobertura natural. El reemplazo de estas coberturas por superficies impermeables alteran los flujos de energía, generando la formación de «Islas de calor» en las áreas con mayor densidad de edificaciones (Paolini, 2012).

En segundo lugar, la generación directa de calor producido en las actividades humanas dentro de la ciudad. Este efecto, conocido como liberación de calor antropogénico, incluye el transporte basado en vehículos con motor de combustión, los hogares y sus instalaciones de climatización, la liberación de calor en las fábricas o cualquier otra fuente humana (Taha, 1997; Magee et al., 1999; Kato et al., 2005).



Figura 06. Calor y polución generados por la actividad humana en las ciudades

Fuente: <https://pixabay.com/photos/pollution-industrial-plant-588810/>

Un tercer factor es la radiación que es devuelta a la superficie terrestre por reflexión en la capa de impurezas atmosféricas (Taha et al., 1988; Yang et al., 2015; Morini et al., 2016).

También afectan otros factores propios del clima y condiciones de cada ciudad, otros como la velocidad del viento, la cobertura de las nubes (Morris et al., 2001), la existencia -o inexistencia- de zonas verdes (Fadigas, 2009), la radiación solar (Terjung & Louie, 1973), etc.

Las modificaciones del clima a consecuencia de las condiciones propias de las zonas urbanas se producen a varias escalas (Coral et al., 2013). A micro-escala, se producen perturbaciones atmosféricas debidas por ejemplo a la presencia de materiales no naturales, calles, edificios y parques, como consecuencia del planeamiento urbano.

Por otra parte, los procesos a meso-escala pueden producirse a decenas o incluso cientos de kilómetros de la ciudad. En este contexto incluyen las modificaciones sobre la velocidad del viento o perturbaciones de la superficie urbana en el clima (Coral et al., 2013).

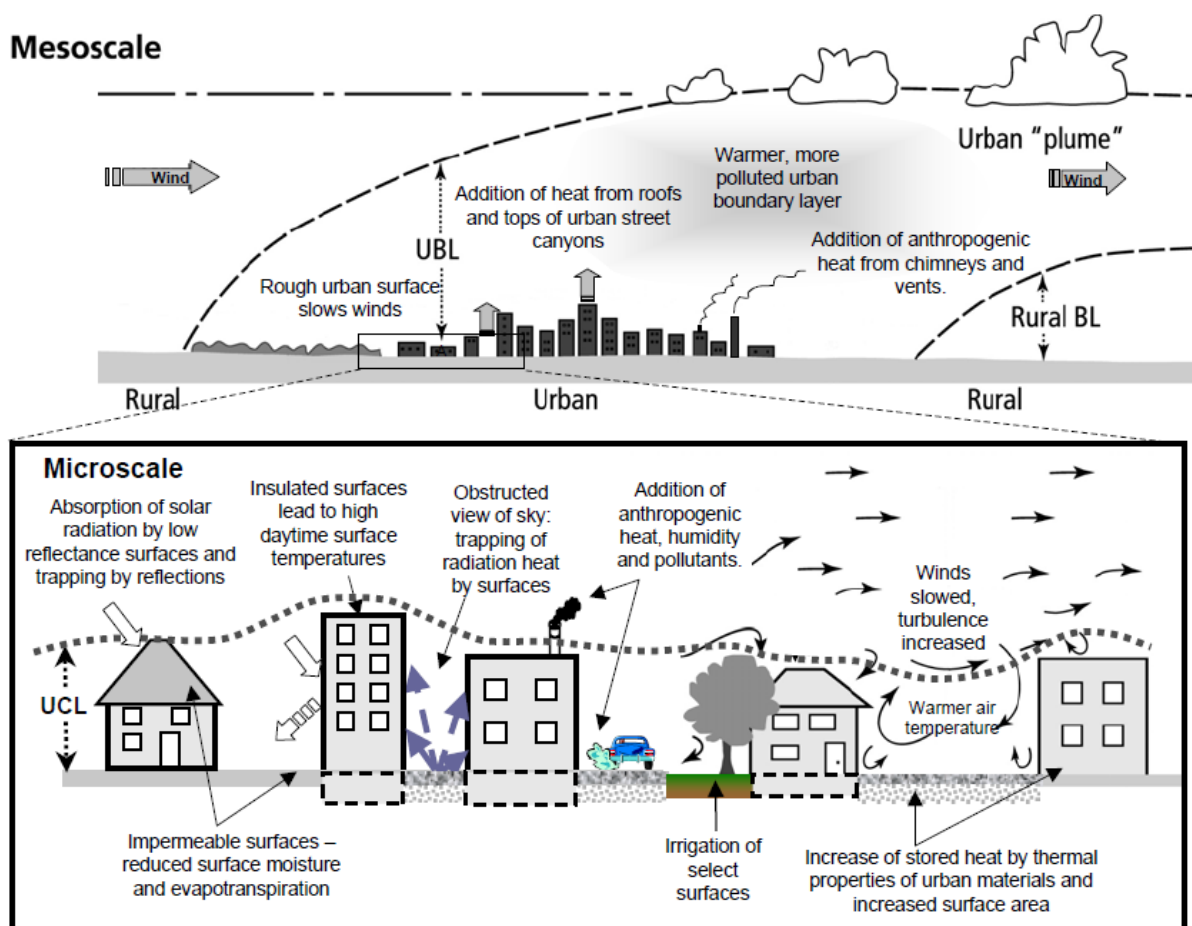


Figura 07. Efectos de la urbanización sobre el clima a diferentes escalas  
Fuente: Voogt (2007). How Researchers Measure Urban Heat Islands



En la literatura internacional encontramos referencia a dos categorías de isla de calor: la canopy layer heat island (CLHI), y la denominada *boundary heat layer* (Oke, 1976):

- **Palio urbano** (García, 1997)<sup>1</sup> o capa bajo la cubierta urbana (**Canopy Layer Heat Island, CLHI**) se refiere a la capa de aire más cercana a la superficie, y que se extiende hasta la altura de la edificación en las ciudades. Se corresponde con la micro-escala del gráfico bajo estas líneas (Figura 08).
- **Isla de calor de la capa límite urbana (Boundary Layer Heat Island, BLHI)**. Se encuentra ubicado sobre la capa anterior, y va desde los tejados de los edificios hasta un nivel por debajo del cual las características meteorológicas están modificadas por la ciudad en superficie. Puede tener un espesor que varía desde varios cientos de metros durante la noche, hasta 1 kilómetro o incluso más durante el periodo diurno (García, 1992). Ésta se corresponde con la meso-escala citada anteriormente.



Figura 08. Esquema de las capas térmicas urbanas sobre perfil urbano

Fuente: Elaboración propia

De los dos tipos de islas de calor atmosférico, las CLHI son las más comúnmente observadas y mencionadas en la mayoría de las investigaciones de ICU. Por lo tanto, este estudio utilizará el término islas de calor urbanas (ICU) para referirse a CLHI.

<sup>1</sup> Denominación propuesta por García, M. en “Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana” (1997). En la literatura escrita este término aparece habitualmente en inglés. En los artículos en castellano hay disparidad de traducciones para referirse a este concepto.

La ICU varía a lo largo del día, alcanzando su máximo efecto pocas horas después de la puesta del sol. Esto es debido a que la energía absorbida por las superficies urbanas es liberada lentamente en comparación con la liberada por las superficies rurales (Coral et al., 2013).

A nivel práctico, basta con comparar la diferencia de temperatura –y de confort térmico- que se experimenta entre una calle céntrica carente de vegetación y la calle de un pueblo del área metropolitana, especialmente cualquier día de verano.

La intensidad de la isla de calor depende de muchos factores como el momento del día, la estación del año, la morfología urbana, la geografía de cada ciudad, la cantidad de población.

Se ha estudiado que la isla de calor urbana es más evidente en las noches despejadas, en ausencia de viento, mostrando variaciones en función de la hora y la estación del año (Kim & Baik, 2002). Los contrastes de temperatura son más acusados en condiciones de clima suave y despejado; y tienden a desaparecer en días nublados y ventosos (Landsberg, 1981).

Por el contrario, el menor efecto de la ICU ( $\Delta T_{\text{Urbano-Rural}}$ ) se presenta en las primeras horas de la mañana, incluso presentándose la posibilidad de que las zonas urbanas sean más frescas que las del entorno (Coral & Turégano, 2013).

Gráficamente, la isla de calor se suele representar como una curva en forma de campana, que posee sus valores más altos cuanto más cerca del centro urbano, más denso; y valores más bajos según nos vamos alejando del tejido urbano hacia lo rural no urbanizado:

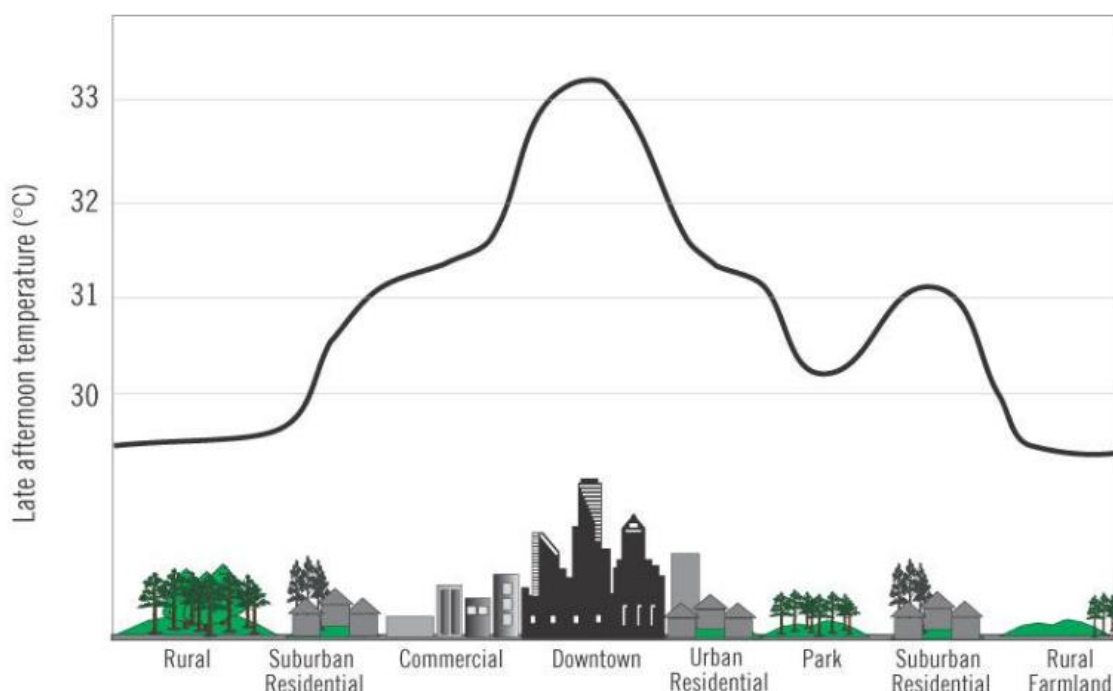


Figura 09. Representación gráfica del perfil térmico de la ICU sobre perfil urbano  
Fuente: Arrau, C.P., & Pena, M.A. (2010).

Como se puede observar en la figura (Figura 09), el aumento de las temperaturas asociadas a la ICU no es uniforme en todo el conjunto urbano. Existen variaciones térmicas dentro de la propia ciudad, generalmente influidas por el tipo de uso, edificación, y la presencia o no de masas vegetales (Santana, 2007).

El aumento en la temperatura tiene graves consecuencias sobre la salud de las personas. Contribuye directamente a muertes por problemas cardiovasculares y respiratorios, especialmente en las personas mayores y colectivos de riesgo (Heaviside, Macintyre & Vardoulakis, 2017).

Por otra parte, la falta de movimiento del aire dificulta la dispersión de partículas contaminantes, aumentando los niveles de éstos en el aire que respiramos (Naranjo Silva, 2005).

Según se viene estudiando, la ICU tiene relación con la mortalidad relacionada con la contaminación y el calor en las ciudades (Rupa Basu et al. 2002). Además, reduce notablemente el confort de sus habitantes, con el consiguiente aumento de demanda de energía de los edificios para lograr una temperatura adecuada por parte de los usuarios.

Esta reducción del confort térmico genera un aumento del uso de sistemas de climatización, en su mayoría alimentados por combustibles fósiles y fuentes de energía no renovable, que no hacen sino contribuir al aumento de las temperaturas.

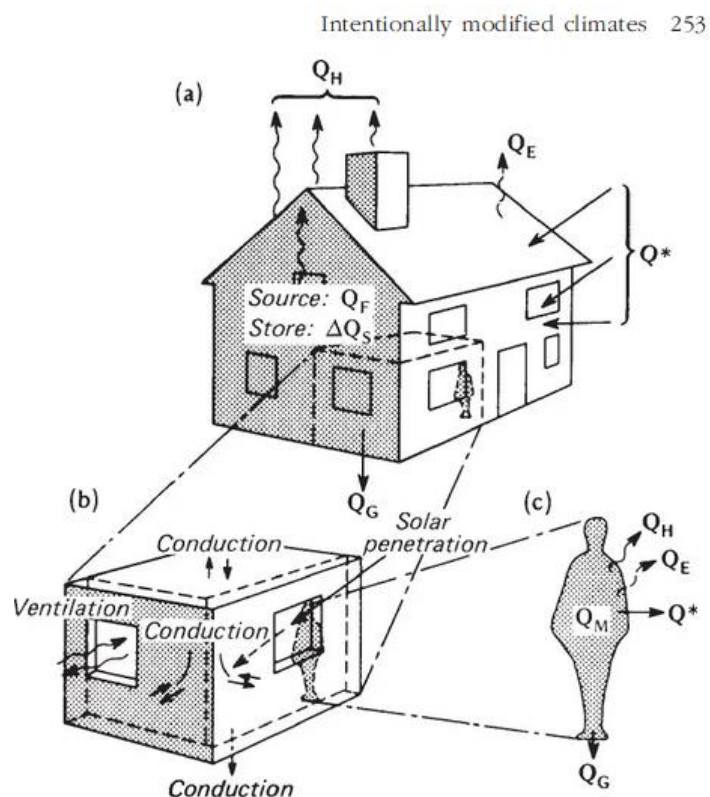


Figura 10. Esquema de flujos de energía en un edificio, una habitación y una persona

Fuente: T.R. Oke (1978). Boundary Layer Climates

La ICU también tiene incidencia en la vegetación urbana. En un estudio reciente se han analizado imágenes de satélite de 85 ciudades de EE UU entre 2001 y 2014. Los resultados muestran que la vegetación en áreas urbanas se vuelve verde antes, pero es menos sensible al cambio de temperatura que en regiones rurales próximas (Meng et al., 2020). El resultado viene a ser una especie de círculo vicioso en el que la temperatura de las ciudades aumenta mientras disminuye la calidad de vida de sus ciudadanos.

En la última década, hay un creciente interés y aumento del número de estudios sobre la isla de calor urbana. A lo largo de la última mitad del siglo XX y la primeras décadas del XXI se ha ido conformando una abundante bibliografía entorno al clima de las ciudades y, en especial, sobre la ICU, demostrando el gran interés de investigadores de diversas disciplinas por conocer, en general, la influencia del hombre en el medio ambiente, y, en particular, las alteraciones o modificaciones climáticas antropogénicas en las ciudades (García & Pardo, 2016).

### **Estudios y modelizaciones de la ICU**

A la hora de establecer criterios para la modelización de la ICU, nos encontramos que ésta está condicionada por una gran cantidad de variables, que pueden ser clasificadas como controlables e incontrolables. Entre las variables controlables se encuentran la densidad de población, las emisiones, la actividad humana y los criterios de diseño urbano (zonas verdes, materiales de construcción, etc.). Por el contrario, las variables no controlables por el ser humano son las dependientes del clima: la velocidad del viento, la radiación solar o la nubosidad (Rizwan & Dennis, 2008).

Por un lado, encontramos varias investigaciones que relacionan la ICU con las variables controlables enunciadas por Rizwan & Dennis. Según estos estudios, existe una relación directa e indirecta entre la cantidad densidad de población y la intensidad de la ICU (Zhang et al., 2013; Hung et al., 2006; Kim et al., 2005). La relación directa es debida al metabolismo humano; y la indirecta debida a la actividad de las personas y las emisiones térmicas (y físicas) derivadas de esa actividad.

Igualmente, hallamos una gran cantidad de textos que relacionan la existencia de vegetación con el control de la temperatura las ciudades en relación a la ICU (Arellano & Roca 2019; Feyisa et al., 2014; Oliveira et al., 2011; Suska et al., 2011; Heidt & Neef, 2008; Takebayashi et al. 2007; Jusuf et al., 2007; Wong & Yu, 2005).





Figura 11. La vegetación como herramienta de control de temperatura en las ciudades

Fuente: urbanespora.com. 5 razones para crear espacios verdes urbanos

Por otro lado, también se ha investigado sobre las variables no controlables. En un estudio llevado a cabo sobre las 10 ciudades más pobladas de Hungría, se indica que las condiciones climáticas y anticiclónicas incrementan la ICU (Pongracz et al., 2006). También se ha demostrado que existe relación entre la velocidad del viento y la cobertura de las nubes (Kim et al., 2005; Klysk et al., 1999).

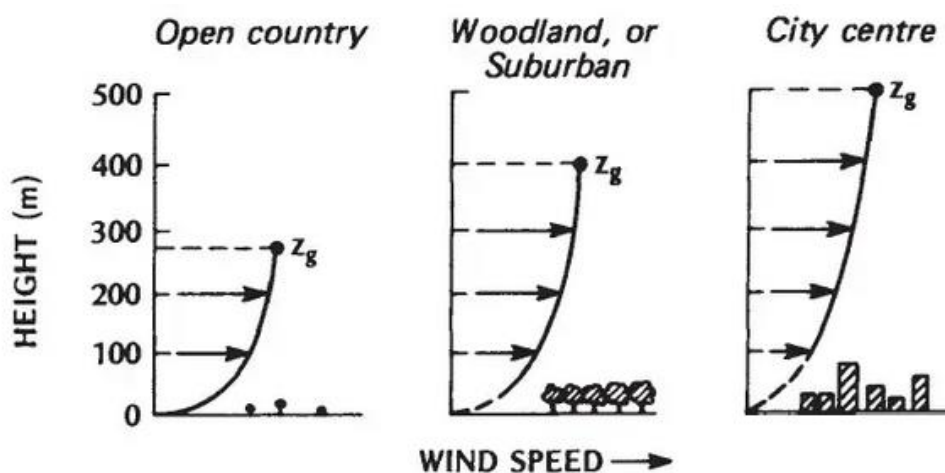


Figura 12. Velocidad del viento en la superficie en función de la rugosidad del terreno

Fuente: T.R. Oke (1978). Boundary Layer Climates

En lo referente a metodologías, para analizar la ICU existen modelos fundamentalmente de tres tipos: los analíticos (fundamentados en el estudio de los procesos y fenómenos físicos); los numéricos (basados en fórmulas); y los mapas de clima urbano (Coral, et al., 2013).

De todos ellos, los últimos son los más valorados en la actualidad, ya que se refieren directamente a la realidad urbana que estudian en cada caso, en oposición a los modelos analíticos y matemáticos, de naturaleza más genérica.

A modo de ejemplo, de entre los modelos analíticos citaremos el desarrollado para valorar el balance energético sobre superficies urbanas (Núñez, 1977) calculado a partir de la radiación solar incidente ( $Q^*$ ):

$$Q^* + Q_A = Q_h + Q_s + Q_{AD}$$

$Q_A$  = Transferencia de calor por tuentes antropogénicas

$Q_h$  = Transferencia de calor por convección

$Q_s$  = calor almacenado en superficies urbanas

$Q_{AD}$  = flujo de calor por advección

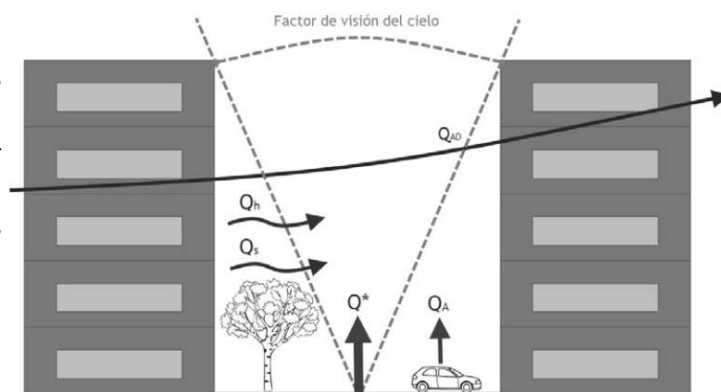


Figura 13. Balance de energía sobre superficies urbanas  
Fuente: (Núñez, 1977)

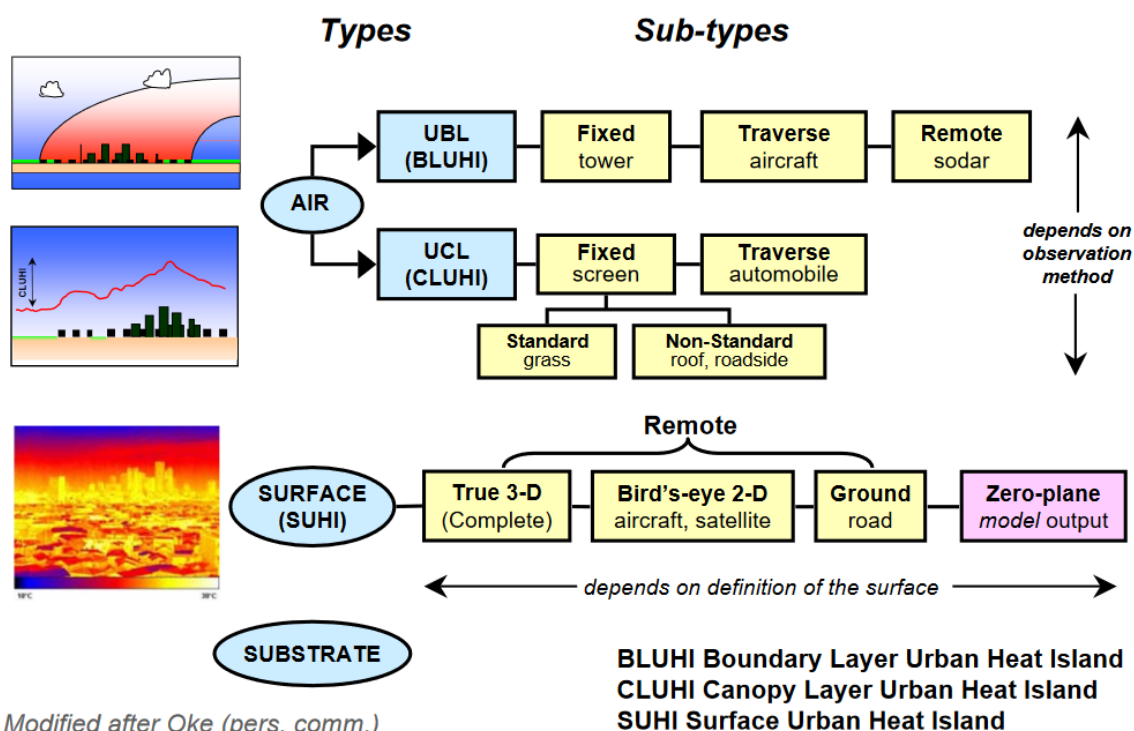
Los modelos matemáticos se utilizan para realizar el balance energético de edificios y su entorno (Ashie et al., 1999); simular cañones urbanos (Arnfield et al., 1998) o para simular el efecto de la velocidad del viento sobre los edificios, estimando los coeficientes de convección sobre los mismos (Blocken et al., 2009), entre otros.

En este trabajo nos centraremos pues en las metodologías basadas en mapas de clima urbano.

La metodología tradicional en el estudio de la ICU y la toma de datos de temperatura a nivel terrestre para la elaboración de mapas de clima, se basaba en la observación in situ, a través de estaciones meteorológicas o mediante el método de los transectos. Sin embargo, este tipo de mediciones exigen tomas de datos durante largos periodos, como es el caso de un reciente estudio sobre la ICU de Barcelona (Martínez et al., 2019); y resultan costosas en términos de tiempo, esfuerzo y dinero. Asimismo, poseen la desventaja de la dificultad de mantener los datos actualizados, y no proporcionan información en tiempo real.

Para tomar los datos de temperatura, hoy es posible hacerlo a través de tomas de datos a nivel terrestre, pero también de forma remota desde satélites, vuelos, etc.

Con la evolución de internet y las bases de datos de libre acceso, existen cada vez más bancos de información de acceso gratuito bajo demanda que pueden resultar de gran interés para el estudio de este y otros fenómenos.



Modified after Oke (pers. comm.)

Figura 14. Metodologías empleadas en el estudio de la ICU  
 Fuente: Voogt, J (2007). How Researchers Measure Urban Heat Islands



Cada una de las herramientas o metodologías empleadas para la toma de datos posee algunas ventajas e inconvenientes, que se resumen en el siguiente cuadro:

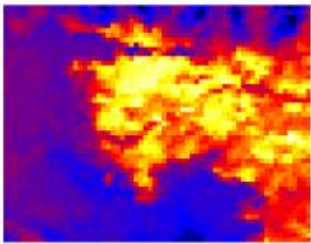
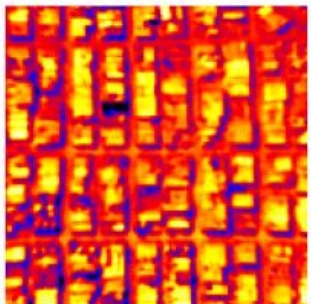
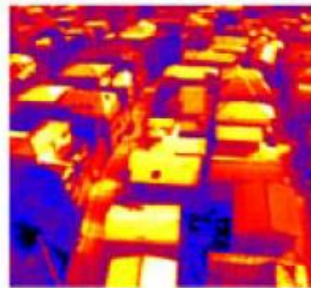
Herramienta	Imagen resultado	Observaciones
Satélite		<p><b>VENTAJAS</b> Alta cobertura espacial.</p> <p><b>LIMITACIONES</b> Cobertura temporal limitada Limitado por agentes climáticos y atmosféricos Resolución limitada.</p>
Vuelo		<p><b>VENTAJAS</b> Mayor resolución, más detalle de los elementos urbanos.</p> <p><b>LIMITACIONES</b> Coste elevado Cobertura irregular Producto no estandarizado</p>
Terrestre		<p><b>VENTAJAS</b> Puede evitar correcciones debidas a la influencia atmosférica. Posibilidad de alta resolución.</p> <p><b>LIMITACIONES</b> Proporciona una única perspectiva de algunos elementos urbanos</p>

Figura 15. Herramientas para toma de datos remota en áreas urbanas  
Fuente: Voogt, J (2007). How Researchers Measure Urban Heat Islands

Aunque la estructura espacial de la ICU cada vez se estudia más a través de datos de origen remoto, no debe subestimarse el valor de las mediciones terrestres en el análisis.

La medición de temperatura de forma remota a través del satélite supone la ventaja de obtener datos de forma simultánea, con una visión sinóptica. Por el contrario, está limitada por el tiempo entre mediciones del satélite y por la resolución de las imágenes arrojadas.

La dependencia de ICU de factores locales como la geografía, el clima y la forma y características urbanas, subrayan la necesidad de una investigación de casos adicionales que examinen áreas específicas para estimar la intensidad de la ICU con datos actuales, comprender su dependencia de factores locales determinantes (Tzavali, et al., 2015).

Las primeras referencias en el uso de satélites para la medición de temperaturas en referencia a la isla de calor datan de 1972 (Rao, 1972). Sin embargo, no será hasta finales de los años 70, con la aparición del *Very High Resolution Radiometer* (VHRR), cuando aparecerán las primeras publicaciones al respecto (Carlson, et al. 1981) y (Matson et al. 1978).

Trabajos posteriores utilizaron los sensores *Heat Capacity Mapping Radiometer* ó HCMR (Price, 1979; Carlson et al. en 1981; Vukovich, 1983 y Gossman, en 1986).

Posteriormente, el radiómetro *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR)) fue diseñado para la observación meteorológica (determinación de cobertura de nubes y temperatura de la superficie). Posteriormente los datos que suministra han encontrado numerosas aplicaciones en el campo de la Observación de la Tierra, lo que ha llevado a convertir al sensor AVHRR en una de las fuentes de datos de Teledetección más utilizadas. Sus datos fueron utilizados por varios investigadores como en los años ochenta (Balling & Brazel, 1988; Roth et al. 1989).

Recientemente, es habitual encontrar investigaciones que utilizan los datos de temperatura de la superficie terrestre proporcionados por MODIS para analizar la ICU. *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*, MODIS, es un instrumento científico lanzado en órbita terrestre por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Consiste en dos sensores que viajan a bordo de los satélites “*Aqua*” y “*Terra*”. Juntos son capaces de detectar incendios, nubes de tipo cirrus, de cartografiar áreas cubiertas por nieve y hielo, o medir la temperatura superficial de la tierra (mar y agua), proporcionando datos de todo el planeta en intervalos de tiempo que van de uno a dos días.

Analizando la literatura, observamos como los datos de MODIS han sido utilizados en investigaciones sobre de la isla de calor en diversas regiones. Una de las principales ventajas de los datos proporcionados por MODIS es que son fácilmente accesibles. En concreto, los datos de temperatura de la superficie terrestre, útiles para el estudio de la isla de calor urbana, pueden ser consultados y descargados en la página web del centro de datos norteamericano *Land Processes Distributive Active Archive Center* (DAAC).

Incluso se han contrastado las mediciones de temperatura in-situ con las obtenidas por el satélite, concluyendo que la precisión de los datos de MODIS oscila entre un 3% y un 5%, incluso en entornos urbanos (Rigo et al. 2006).

En nuestro continente, se han usado para estudiar la isla de calor en Birmingham (Azevedo et al. 2016), así como el análisis y desarrollo de indicadores para cuantificar, llevado a cabo en más de 250 ciudades europeas (Schwarz et al. 2011).

En un estudio realizado en Estados Unidos, demostraron que los datos diurnos y nocturnos de MODIS muestran mayor correspondencia con los de temperatura del aire en invierno; mientras en verano esta correlación disminuye, especialmente en las temperaturas diurnas. En este sentido, también en el continente asiático, un estudio realizado con datos de temperatura de la superficie terrestre MODIS entre 2000 y 2005 concluyó, mediante simulación numérica, que la

isla fría urbana se debe principalmente a la diferencia de las características térmicas de la superficie entre el área urbana y rural (Wang et al., 2007).

Además, en general, los resultados de la ICU basados en la temperatura del aire son más significativos cuando se usa una temperatura mínima. La ICU basada en la temperatura de la superficie terrestre es más significativa cuando se usan estimaciones diurnas de verano (Zhang et al. 2014).

El uso de este tipo de imágenes cada vez es más generalizado. Así, recientes investigaciones (Lemus-Canovas et al., 2019; Kikon, et al., 2016; Rasul et al., 2015) también utilizan las imágenes del satélite Landsat 8, que recoge imágenes de la totalidad globo cada 16 días, con una resolución de 100m. También podemos reseñar el estudio sobre las metodologías y técnicas empleadas para caracterizar el efecto de la isla de calor (Deilami et al. 2018). Este estudio revela que, de los 75 estudios analizados, el 54% usaron imágenes Landsat TM para caracterizar la ICU; un 34% Landsat ETM y MODIS (28%).

Por otro lado, diversos autores (Saitoh et al., 1995; Lemonsu et al., 2002; Jauregui, 1997) han obtenido diferentes valores del efecto ICU, encontrando en la literatura valores de diferencia de temperatura que oscilan entre los 5 y los 8°C.

Atendiendo la escala de los modelos y estudios, encontramos también por un lado modelos que van de pequeña escala, a escala edificios o manzana (Onmura et al., 2001; Kato & Yamaguchi, 2005; Kaloush et al., 2008; Bloken & Defraeye, 2009). Normalmente el establecimiento de estos modelos está relacionado con instalaciones, materiales de construcción, orientaciones, espacios verdes, etc.

Por otro lado, existen estudios de mayor escala, la mayoría, que analizan ciudades, generalmente incluyendo su área metropolitana, o incluso zonas más extensas (Ashie et al., 1999; Hafner & Kidder, 1999; Alcoforado, 2006; Hansalou & Mostofi, 2015).



Figura 16. Modelización de temperatura a escala ciudad

Fuente: Oxford University Press. <https://blog.oup.com/2015/08/urban-heat-islands/>

En esta línea, tenemos resulta especialmente interesante el estudio que analiza diversos modelos, en un espacio temporal medio (2013-2015), de modelización de la ICU en función de su escala. Los resultados muestran que mientras que los modelos a escala edificio y modelos a microescala son mucho más precisos, no es posible su aplicación para cubrir toda el área de una ciudad debido al extenso costo computacional y complejidad de los parámetros importantes. Por el contrario, la precisión de los modelos de meso-escala en la investigación si muestran capacidad suficiente para analizar a gran escala efecto de la ICU, pero su precisión no resulta suficiente para proporcionar detalles sobre la capa del dosel urbano (Mirzaei, 2015).

En el examen de la bibliografía revisada sobre la ICU se constata que su interés es creciente y que el análisis del fenómeno se ha desarrollado en numerosas ciudades a lo largo del globo. Citaremos a continuación algunas ciudades y países por continentes que ilustran esta afirmación. En este sentido, se constata que las metodologías y los resultados obtenidos han sido bastante dispares en cada una de ellas.

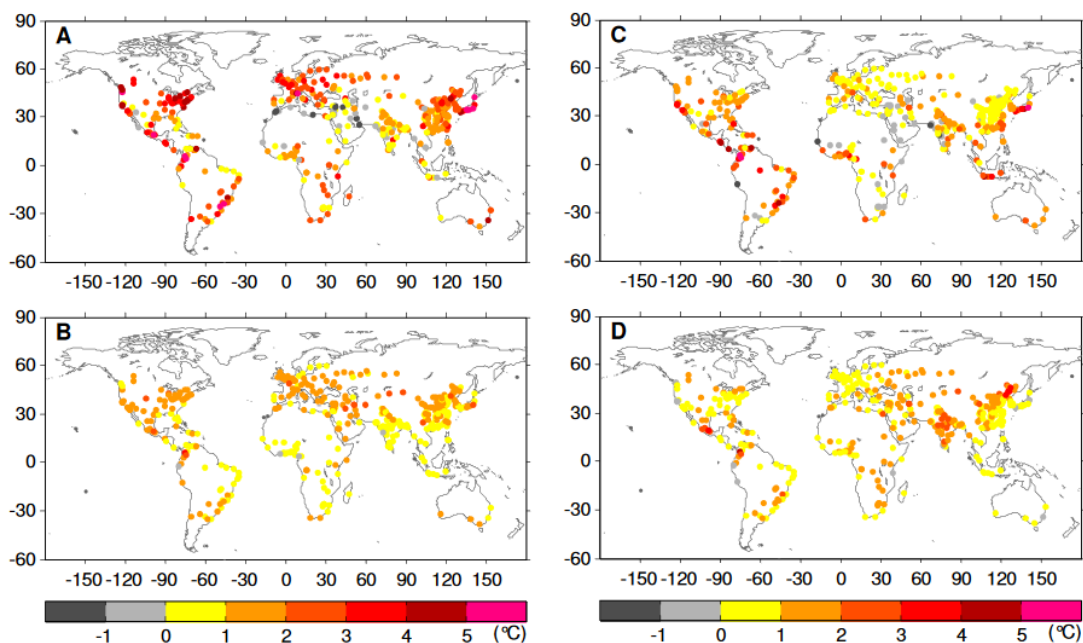


Figura 17. Patrones espaciales de (A) SUHII diurno de verano, (B) SUHII nocturno de verano, (C) SUHII diurno de invierno y (D) SUHII nocturno de invierno promediados durante el período 2003-2008 en 419 grandes ciudades.

Fuente: Peng et al., 2011.

## América

La ICU que se ha estudiado en la ciudad de Cuenca, Ecuador (Campoverde, 2018), muestra diferencias máximas de hasta 3.4°C entre las estaciones más distantes, con una mayor intensidad en la época seca.



En el norte del continente americano, en la ciudad de Fairbanks, Alaska, se constató la menor ICU de la bibliografía encontrada, con tan solo 1°C de diferencia (Magee et al., 1999). En Atlanta, Estados Unidos sucedió algo semejante. Los resultados indican una ICU máxima de 1.2°C (Hafner and Kidder, 1999).

## Europa

En el viejo continente son numerosos los estudios realizados en sus ciudades: Birmingham (Azevedo et al. 2016), Berlín (Li et al. 2018), Skopje (Kaplan et al., 2018), Toulouse (Houet & Pigeon, 2011), Londres (Kolokotroni, et al. 2006), Lisboa (Alcoforado & Andrade, 2006), o varias ciudades suizas (Wanner & Hertig, 1984), entre otros.

En la ciudad de Lodz, Polonia, se ha calculado la mayor diferencia de temperaturas constatada para una ciudad: 12°C, usando estaciones meteorológicas de medida (Klysik & Foruniak, 1999).

También se han realizado estudios comparando ciudades con climas diferentes como Madrid y Viena (Xiao, et al., 2018). Los resultados muestran que en verano, Viena presenta temperaturas altas en las áreas urbanas y bajas temperaturas en las áreas rurales circundantes, mientras que Madrid muestra el aspecto opuesto, siendo relativamente más fresco en las áreas urbanas en comparación con las áreas rurales.

En nuestro país, el proyecto MODIFICA (Modelo Predictivo edificios isla de calor urbana) promovido por la Universidad Politécnica de Madrid, tiene por objeto analizar la ICU de Madrid y llegar a la caracterización dinámica de este fenómeno. (Núñez et al., 2016).

En el entorno más próximo y climáticamente similar a la ciudad de Valencia, en el ámbito mediterráneo, se han realizado alrededor de 60 trabajos en más de 30 ciudades. Así, ciudades de Grecia, Chipre, Turquía, Líbano, Israel, Egipto, Túnez, Italia, Francia y España cuentan con estudios en una o varias de sus ciudades; sobre todo aquellas de mayor tamaño. Los países donde existen un mayor número de trabajos son Grecia y España (García, 2016).

Un estudio realizado sobre la ICU en la ciudad de Valencia mediante toma de datos terrestres y remotos, cifra la diferencia máxima entre la ciudad y la periferia rural de 8°C (Caselles et al. 1991).

Pero no solo hay estudios sobre grandes urbes. También encontramos estudios cuyo objetivo es constatar la existencia ICU en pequeñas localidades como Algemesí (Ramiro, 2006).

La configuración e intensidad de la ICU, en muchas ciudades, se ve influenciada por la brisa marina. Una influencia marina que se deja notar atenuando las temperaturas, refrescando durante el verano y calentando durante el invierno, o desplazando el centro térmico de la ICU (García & Pardo, 2016).

Otro estudio reciente llevado a cabo en la ciudad de la Barcelona con imágenes procedentes de satélite, concluye que las áreas verdes urbanas presentaron temperaturas de hasta 2.5°C más bajas que en las áreas urbanas. El rango de temperatura máxima entre las cubiertas terrestres se detectó en primavera y verano, mientras que en invierno esta diferencia fue insignificante (Lemus-Canovas et al. 2019).

## África

En el continente africano es donde menos estudios hemos encontrado. Esto puede deberse a se haya publicado menos, o en idiomas no tan fácilmente accesibles. Muchos de estos pocos estudios también permanecen inéditos o han sido publicados en medios menos accesibles.

Sin embargo, sí podemos citar el estudio de la ciudad Akure, al suroeste de Nigeria (Balogun et al., 2009). Resulta interesante porque es uno de los pocos llevados a cabo (o difundidos) en regiones tropicales húmedas. El documento describe las mediciones de temperatura realizadas durante las temporadas de *harmattan* (seco) y monzón (húmedo) de 1997. Las características de la isla de calor urbano (ICU) en Akure se evalúan utilizando una red de siete termógrafos y seis higrómetros durante las estaciones seca y húmeda, respectivamente. Se constata que el efecto ICU se produce tanto durante el día como durante la noche; alcanzando su mayor intensidad durante el día, con valores de 6,8°C y 4,3°C en las estaciones seca y húmeda, respectivamente. También es interesante la influencia del río Ala, que tiende a dividir la distribución de la temperatura en dos islas distintas de calor y frío durante las partes más frescas del día en la estación seca. Este patrón es menos evidente durante la estación húmeda.

Resulta también interesante un estudio conjunto de las ciudades de Lagos (Nigeria), Nairobi (Kenya), Addis Ababa (Ethiopia) y Lusaka (Zambia) (Simwanda et al., 2019). Los resultados muestran una correlación significativa entre la LST media y la densidad de la superficie sellada y el espacio verde a lo largo del espacio de transición entre lo urbano y lo rural, en las cuatro ciudades estudiadas. El estudio también encontró altas intensidades de islas de calor urbano en las zonas del área urbana a una distancia de 0 a 10 km del centro de la ciudad, donde hay menos zonas verdes. En consecuencia, se pone de manifiesto el importante efecto atenuante de los espacios verdes; siendo la ciudad más fresca aquella que tiene el mayor porcentaje de zonas verdes. Otra observación importante que se desprende de este estudio es la existencia de una separación física general entre las superficies selladas y los espacios verdes en las ciudades africanas.

Este estudio ha revelado además que, a pesar de que la mayoría de las ciudades africanas tienen una relación entre el espacio verde y la superficie sellada superior en comparación con las ciudades en otras regiones, el efecto ICU también es evidente. Las ciudades con un mayor porcentaje de área urbana en relación con la superficie total de estudio eran más cálidas, es decir, tenían valores medios de LST al menos 3–4°C más altos que la ciudad más fría, lo que resulta en fuertes efectos ICU.

## Asia

La literatura e investigación científica de origen asiático ha proliferado mucho en los últimos años, también sobre la isla de calor. Así, en un estudio realizado en este continente, se analizaron doce ciudades de Asia y en el que evidencia la existencia de correlación entre el número de habitantes y el incremento de la ICU (Hung et al. 2005). Según otro estudio (Kim et al. 2004), se encontró que la densidad de población tiene gran relación con la ICU, afectando sobre ella de una forma tanto directa (metabolismo de la población); como indirecta (a mayor población, mayor número de construcciones, viales, vehículos, industrias etc.)

En la ciudad de Seúl se han realizado al menos dos estudios. En el primero de ellos, utilizando datos de la estaciones meteorológicas, se registró una diferencia de temperatura máxima del aire de 3.4°C (Kim & Baik, 2005), mientras, que el otro estudio cifró la temperatura de la ICU en 8°C, esta vez utilizando datos satelitales (Hung et al., 2005).

Sobre el área metropolitana de Beijing, un estudio concluyó que la ICU diurna muestra un comportamiento diferente según la estación. Posee un valor máximo durante el verano (mayor de 10 °C); y un valor negativo durante el invierno, lo que se llama isla de frío urbana. Mientras, la variación estacional la ICU nocturna es mucho menor, de aproximadamente 5°C durante todo el año (Wang et al., 2007).

También sobre la ciudad de Tokio nos es posible ver la diferencia entre resultados utilizando varios métodos. Recogiendo datos meteorológicos mediante un automóvil, concluyeron que la intensidad de la isla de calor en Tokio era de 8°C (Saitoh et al. 1996), mientras que utilizando datos procedentes de satélite cifraron la diferencia de temperatura máxima en 12°C (Hung et al., 2005). También en Tokio encontramos un tercer estudio, esta vez poniendo en relación la ICU con las zonas verdes de la ciudad (Kondoh, 1999).

En el caso de la ciudad de Hong Kong se cifra en 4°C la ICU debida a la urbanización y la alta densidad de la ciudad (Tan et al. 2016). En otros puntos, se ha informado de un valor bajo de la ICU, de entre 0.4°C y 1.5°C, dentro de tres urbanizaciones en Hong Kong (Giridharan et al. 2005). También se ha estudiado la ciudad de Singapur (Chow & Roth, 2006), y se ha encontrado una diferencia máxima de 4°C entre las zonas verdes y la región más urbanizada del distrito central de negocios de Singapur (Wong y Yu, 2005).

Aunque el mayor número de estudios sobre los impactos de las ciudades en la climatología los encontramos en China y Japón, también se han realizado estudios en ciudades como Erbil (Irak) (Rasul et al., 2015) o Teherán (Irán) (Hasanlou & Mostofi, 2015). El primer estudio muestra que durante la estación seca en algunas ciudades, como Erbil, la humedad de la superficie es el principal determinante del efecto UCI, y no la superficie vegetal.

El segundo es un estudio cuantitativo que constata la existencia de un alto grado de correspondencia entre la temperatura de la superficie terrestre (LST) procedente de imágenes obtenidas mediante satélite (Landsat 8) y variables habituales en el análisis de la superficie sellada y usos del suelo: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation





Index (EVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Bareness Index (NDBal), Normalized Difference Build-up Index (NDBI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Bare Soil Index (BI), Urban Index (UI), Index-based Built-Up Index (IBI) y Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI).

### **Oceanía**

Varias ciudades del sur de Australia, Melbourne, de gran tamaño y cuatro menores, se han estudiado, y los resultados han sido comparados con otros estudios llevados a cabo en Europa y Norteamérica (Torok et al. 2001). El estudio indica que en las ciudades australianas los efectos máximos de la ICU son menores que los registrados en otros continentes para igual número de población.

También se ha estudiado la capital, Sydney. Los resultados mostraron que las áreas urbanas de la ciudad enfrentan ICUs diurnas que son más pronunciadas en los meses más calurosos, con una intensidad máxima que alcanza los 10°C (Sidiqi et al., 2016).

## Estrategias de mitigación de la ICU

Además de su estudio y parametrización, existen propuestas y estrategias sobre cómo mitigar la isla de calor urbana y sus efectos (Akbari et al., 2016). Las principales prácticas son las siguientes: aumentar la masa vegetal en las ciudades, reducción del albedo de las superficies construidas y pavimentos, estrategias de diseño urbano (orientaciones, altura de la edificación, etc.) y reducción del calor generado por la actividad humana.

En primer lugar, lograr que nuestras ciudades dispongan de mayor cantidad de superficie vegetal, tanto en zonas públicas como privadas. La presencia de elementos naturales en el paisaje urbano permite que los procesos de urbanización, rehabilitación y regeneración de los tejidos urbanos consolidados ocurran con bajo nivel de estrés y más respeto de los equilibrios ambientales que contribuyen a la sostenibilidad urbana (Fadigas, 2009).

En este sentido el INDV (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) índice que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación puede ser de gran ayuda (Coral & Turégano, 2013).

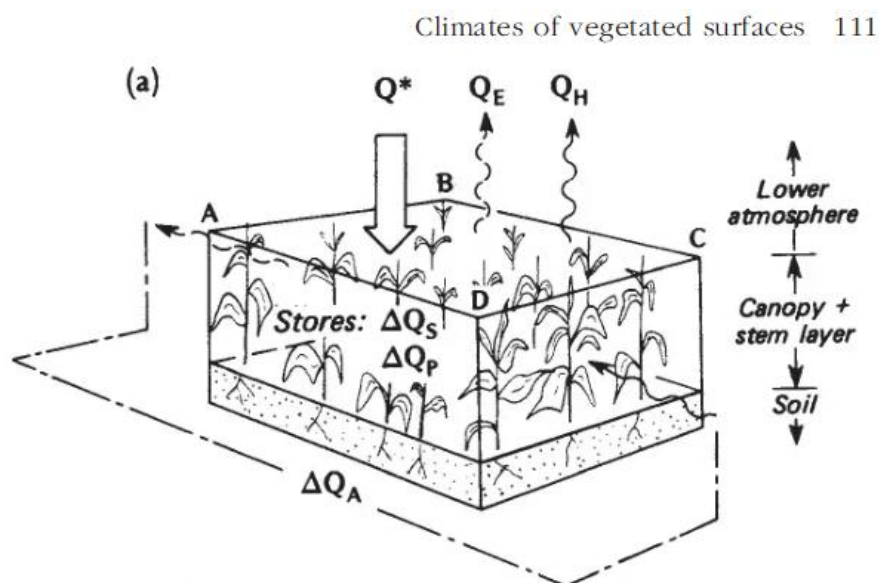


Figura 18. Representación gráfica de los flujos de energía en superficies vegetales  
Fuente: T.R. Oke (1978). Boundary Layer Climates

Así, encontramos diferentes artículos que relacionan la existencia de vegetación con el control de la temperatura de las ciudades en relación a la ICU (Arellano & Roca 2019; Feyisa et al., 2014; Oliveira et al., 2011; Suska et al., 2011; Heidt & Neef, 2008; Takebayashi et al. 2007; Jusuf et al., 2007; Wong & Yu, 2005).

En segundo lugar, incrementar el albedo de las superficies construidas en las ciudades reduciría notablemente la intensidad de la isla de calor.

El albedo es la relación o el porcentaje de la radiación solar reflejada respecto a la radiación solar incidente. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates.

El albedo medio de la tierra es aproximadamente del 30% respecto a la radiación solar incidente, aunque las variaciones del albedo global son un hecho natural que ha cambiado a lo largo de la historia (AEMET, meteoglosario).

Cada vez es más el consenso sobre la capacidad de mitigar la cantidad de calor absorbida por las superficies mediante el uso de materiales reflexivos (Yang et al., 2015; Han et al., 2015; Kaloush, et al., 2008; Bretz et al., 1998). Sin embargo, esta medida no varía y no es igual de efectiva en todas las estaciones. Su uso indiscriminado supondría eliminar la ventaja que supone el calentamiento del aire durante la temporada fría otoño-invierno.

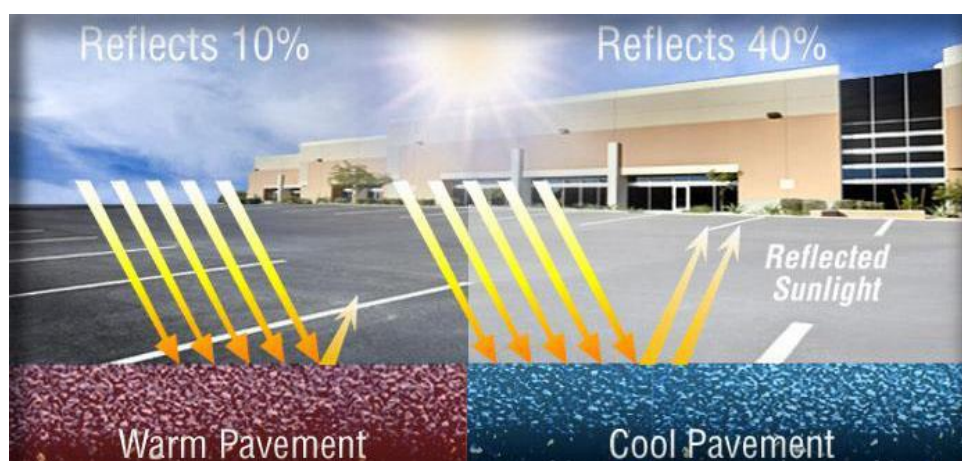


Figura 19. Albedo o capacidad de reflectancia de la radiación solar sobre diferentes materiales

Fuente: Center for clean air policy. ccap.org

Pero también la inclusión de cubiertas vegetales en los edificios, además de poner en uso superficies en muchos casos desaprovechadas, pueden ayudar a mejorar los niveles de contaminación, el malgasto de recursos energéticos y compensen las emisiones de dióxido de carbono de las ciudades.

La capa de tierra vegetal proporciona una gran inercia térmica y aislamiento a la envolvente de cubierta, de modo que en el interior de un edificio es posible mantener la temperatura de confort sin necesidad de un uso excesivo de sistemas de climatización (Susca et al. 2011).

Se ha determinado que, en climas cálidos, en un edificio con cubierta verde, la temperatura interior es de 4º a 5ºC menor a la temperatura ambiente (Onmura et al. 2001).



Figura 20. Ejemplo de cubierta verde.

Fuente: la.network

En tercer lugar, las estrategias de diseño urbano. La temperatura de la ciudad sin duda está condicionada por las orientaciones de sus edificios, los vientos predominantes y los obstáculos que los frenan o los conducen.

El diseño de una trama urbana adecuada y la densidad, altura y ubicación de sus edificaciones dependerán de cada ciudad y clima específico para adaptarse a las condiciones climáticas específicas que generen un mayor confort. La distribución y diseño del arbolado pueden conseguir descensos de la temperatura de hasta 1,5°C (Tan et al. 2016).

Pero también la disposición de los diferentes usos, el diseño de las calles, la inclusión de vegetación adecuada que permita regular la temperatura; o establecer conexiones que promuevan una movilidad no motorizada serán las claves que no solo contribuirán a reducir la intensidad de la isla de calor sino también a crear ciudades más amables y saludables para sus habitantes.

En último lugar, un uso responsable de los sistemas de climatización y de la energía en general, el uso de equipos eficientes, priorizar medios de transporte que no dependan de la combustión de energías fósiles, así como políticas orientadas al desarrollo sostenible serán imprescindibles para mitigar la isla de calor urbana y sus efectos adversos.



Figura 21. Ejemplo de diseño urbano.

Fuente: archdaily.com

Existen muchas investigaciones que analizan y desarrollan medidas y soluciones para mitigar la ICU. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que la idoneidad de las soluciones varía según las condiciones climáticas o la morfología de las ciudades.

Por ejemplo, las cubiertas ajardinadas o revestidas de materiales reflectantes pueden ser muy efectivas para mitigar la ICU en Europa y EE. UU, pero pueden no ser de aplicación para ciudades de gran densidad y gran altura como Singapur o Hong Kong, donde las cubiertas de los rascacielos tienen una superficie muy reducida en relación a la dimensión del edificio. Además, en esas cubiertas es donde se ubican gran cantidad instalaciones (Hien, 2016).

Igualmente, la aplicación generalizada de revestimientos reflectantes para paredes externas o fachadas requiere una cuidadosa consideración, ya que puede provocar problemas de deslumbramiento (Yang, 2013).



## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la localidad de Valencia, de coordenadas geográficas 0°22'28"O, 39°28'36"N; Longitud -0.3773900; Latitud 39.4697500, medidas en la base del Miguelete, uno de los principales puntos de referencia de la ciudad (Fuente: Ayuntamiento de Valencia).

La ciudad de Valencia es la capital de la Comunidad Valenciana, se sitúa en la costa mediterránea, al este de la península ibérica, sobre la gran llanura aluvial de los ríos Júcar y Turia.

*Ver plano 001. Identificación del área de estudio. Ciudad de Valencia y entorno.*



Figura 22. Fotografía aérea de los Jardines del Turia en la ciudad de Valencia  
Fuente: flickr.com.Valencia Zaidia. Autor: anroir. CC License. <https://cutt.ly/irFxBCz>

Esta llanura es la mayor planicie de toda la cuenca mediterránea española, y se encuentra en el centro de la Comunidad Valenciana. La depresión limita con la sierra Calderona al norte, con las montañas de la serranía del Turia al noreste, con la sierra de las Cabrillas al oeste, con el macizo del Caroig al suroeste y con el Mondúver por el sur.

Su altitud sobre el nivel del mar es de tan solo 16m (Agencia Estatal de Meteorología, AEMET). Por el contrario, el punto de mayor altitud del municipio se encuentra en Horteta, y posee 104 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad original, fundada por los romanos en el año 138 a.C., se situaba a varios kilómetros de la costa. Su crecimiento a lo largo de los siglos ha hecho que la ciudad primitiva se una al resto de núcleos poblados en todas sus orientaciones, conectando con sus municipios en origen independientes como Campanar, Benimaclet, Xirivella, Mislata, Cabanyal...



Figura 23. Mapa histórico de la ciudad.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es/iberpix2/visor/>

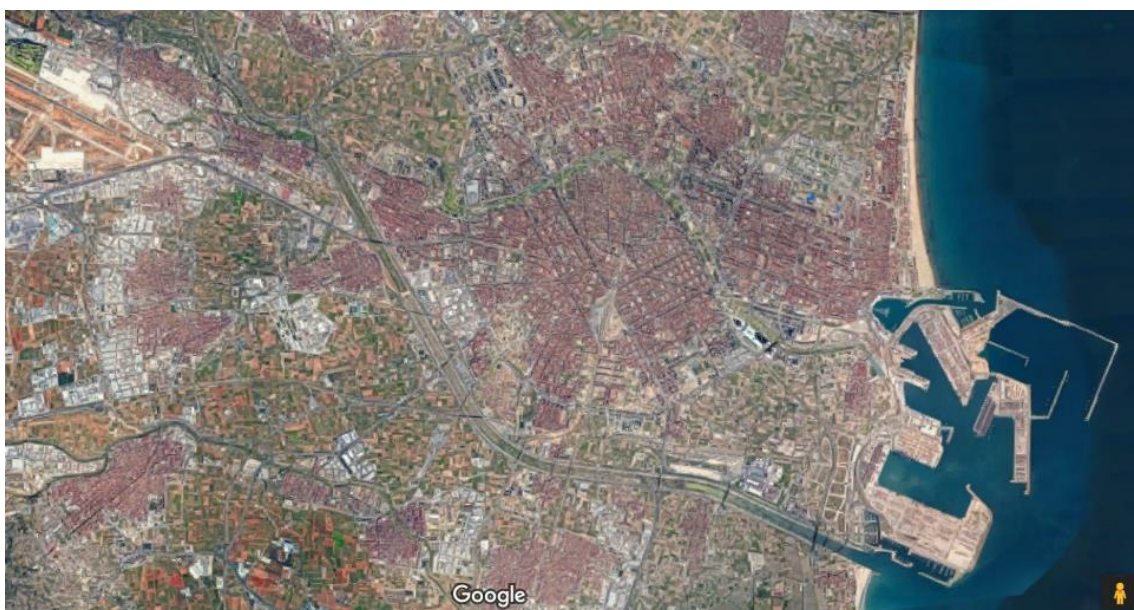


Figura 24. Ortofotografía de la ciudad en la actualidad.

Fuente: Google Maps



En 1988 la superficie de la ciudad era de 32km<sup>2</sup>, de los cuales 1,3km<sup>2</sup> eran espacios verdes (Caselles, 1991). Ya en 1986, según el censo municipal citado por Caselles, la población ascendía a 729.419 personas.

En la actualidad, posee una población de casi 800.000 habitantes; cantidad que supera el millón de personas si tenemos en cuenta el conjunto del área metropolitana. La ciudad es una de las áreas más densamente pobladas de la costa Mediterránea nacional.

Teniendo en cuenta que el término municipal abarca una superficie de 134,65 km<sup>2</sup>, concluimos que su densidad de población es de 5.878 habitantes/km<sup>2</sup>. No obstante, ha de tenerse en cuenta que la población no se reparte uniformemente. Además, los límites de la ciudad no siempre son claros, y no tienen por qué corresponderse con el límite municipal. El tejido urbano a menudo carece de límites bien definidos, presentando una transición progresiva hacia usos específicamente rurales (Martin-Vide, et al., 2015).

En el caso de Valencia, en el entorno de la ciudad encontramos pueblos y urbanizaciones con una densidad por lo general muy inferior a la del casco urbano, pero que prácticamente forman un conjunto continuo con él.

La ciudad posee puerto y playa, principales causantes de su actividad y motores económicos. Un 84% de su población se dedica al sector servicios.



Figura 25. Perfil urbano de la ciudad de Valencia

Fuente: wikipedia.org

Valencia cuenta con un clima mediterráneo suave y ligeramente lluvioso durante los inviernos, y caluroso y seco durante los veranos. Su temperatura media anual es de 18,4°C

El clima de Valencia presenta veranos cálidos e inviernos suaves. La amplitud térmica diaria es reducida debido a la influencia marítima: en torno a los 9°C de media. La mayor parte de los días son soleados, exhiben un cielo despejado y sin nubes.

En la ciudad de Valencia cabe esperar que la isla de calor y su representación gráfica no se correspondan exactamente al modelo tipo, por la presencia del mar Mediterráneo, que actuará como regulador térmico.



Figura 26. Valores de días cubiertos en la ciudad de Valencia serie 1981-2010.

Fuente: AEMET. Gráfico: elaboración propia

Las precipitaciones anuales se sitúan entre 450 y 500 mm, con mínimos marcados en verano (de junio a agosto) especialmente en julio con una media de unos 8 mm; y máximos en los meses de otoño, especialmente en septiembre y octubre (llegando la media algo por debajo de los 80 mm en octubre) por el efecto de la gota fría, que ha llegado a acumular en varias ocasiones más de 150 mm en un día, causando inundaciones. La humedad media anual es relativamente alta debido a la influencia del mar, situándose alrededor del 65% y variando poco a lo largo del año. Los vientos predominantes provienen del sureste, y son los responsables de refrescar principalmente los barrios marítimos.

#### Valores climatológicos normales. València

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 11

Latitud: 39° 28' 50" N - Longitud: 0° 21' 59" O - Posición: Ver localización

Exportar a csv

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	11.8	16.4	7.1	37	64	4.4	0.0	0.3	0.5	0.3	9.0	171
Febrero	12.5	17.1	7.8	36	64	3.9	0.0	0.4	1.3	0.1	6.0	171
Marzo	14.4	19.3	9.6	33	63	3.6	0.0	0.4	0.9	0.0	7.1	215
Abril	16.2	20.8	11.5	38	62	4.8	0.0	1.1	0.7	0.0	5.2	234
Mayo	19.0	23.4	14.6	39	65	4.3	0.0	1.8	0.4	0.0	5.9	258
Junio	22.9	27.1	18.6	22	66	2.6	0.0	1.8	0.2	0.0	9.0	276
Julio	25.6	29.7	21.5	8	67	1.1	0.0	1.6	0.1	0.0	13.0	314
Agosto	26.1	30.2	21.9	20	68	2.4	0.0	1.9	0.3	0.0	10.2	288
Septiembre	23.5	27.9	19.1	70	67	5.0	0.0	2.8	0.0	0.0	6.6	234
Octubre	19.7	24.3	15.2	77	67	5.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.9	202
Noviembre	15.3	19.8	10.8	47	66	4.3	0.0	0.5	0.3	0.0	6.7	167
Diciembre	12.6	17.0	8.1	48	65	4.8	0.0	0.3	0.2	0.0	7.1	155
Año	18.3	22.8	13.8	475	65	46.3	0.1	15.3	5.0	0.5	93.2	2696

### Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Figura 27. Valores climatológicos medios. Ciudad de Valencia  
Fuente: AEMET. Agencia Estatal de Meteorología

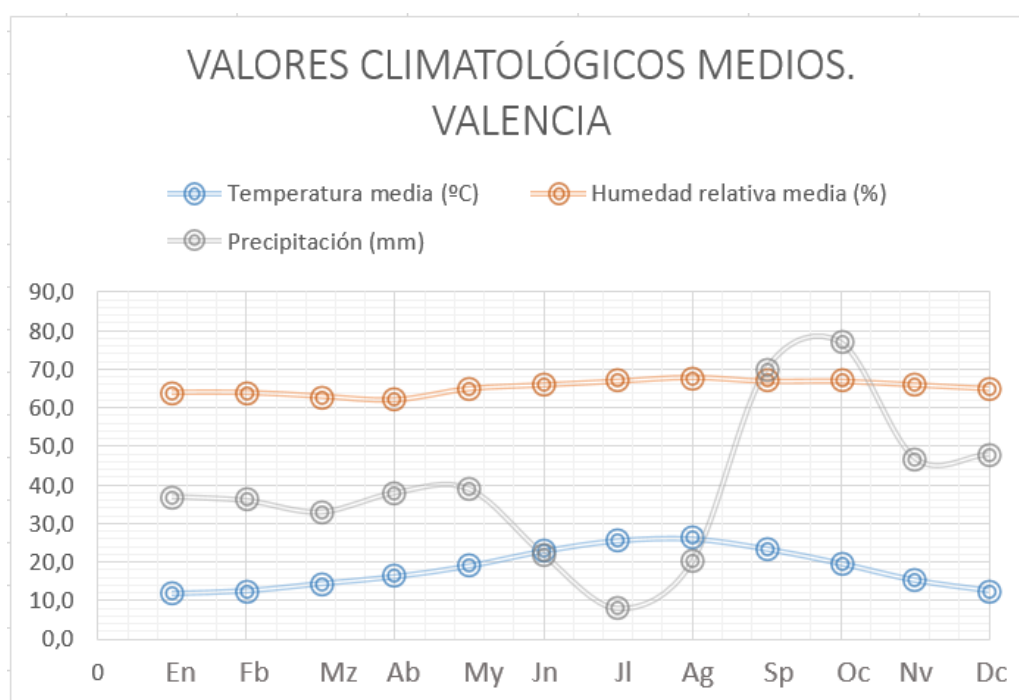


Figura 28. Valores climatológicos medios. Ciudad de Valencia  
Fuente: AEMET. Gráfico: Elaboración propia.

Por su geografía y clima, las inundaciones fueron uno de los principales riesgos climáticos en la ciudad, hasta que se ejecutó el desvío del cauce del río Turia, tras la gran inundación de 1957.

Otro riesgo que suele afectar a la zona mediterránea de la península Ibérica son las olas de calor y frío. Valencia sufre cada año en los meses de verano varias alertas por olas de calor. Se trata

de días en los que se registran temperaturas anormalmente elevadas. Estas olas de calor pueden provocar golpes de calor, capaces de causar incluso la muerte.

La compacidad en el desarrollo de la ciudad la hacen proclive sufrir el fenómeno de la ICU. La existencia de la isla de calor urbana se puede visualizar fácilmente si comparamos, las temperaturas de dos puntos muy próximos geográficamente como son la ciudad de Valencia y su entorno.

No obstante, en la ciudad de Valencia cabe esperar que la isla de calor y su representación gráfica no se corresponda exactamente al modelo tipo de campana, por la presencia tanto del mar Mediterráneo como de la Albufera. Como extensas masas de agua con gran inercia térmica, que actuarán como reguladores térmicos, capaces de mantener y regular la temperatura.

Estas masas de agua constituyen tanto en invierno como en verano durante el día las zonas más frescas. Por el contrario, durante las noches de invierno la Albufera se enfría más lentamente durante el periodo nocturno, y se convierte en un “punto caliente”.

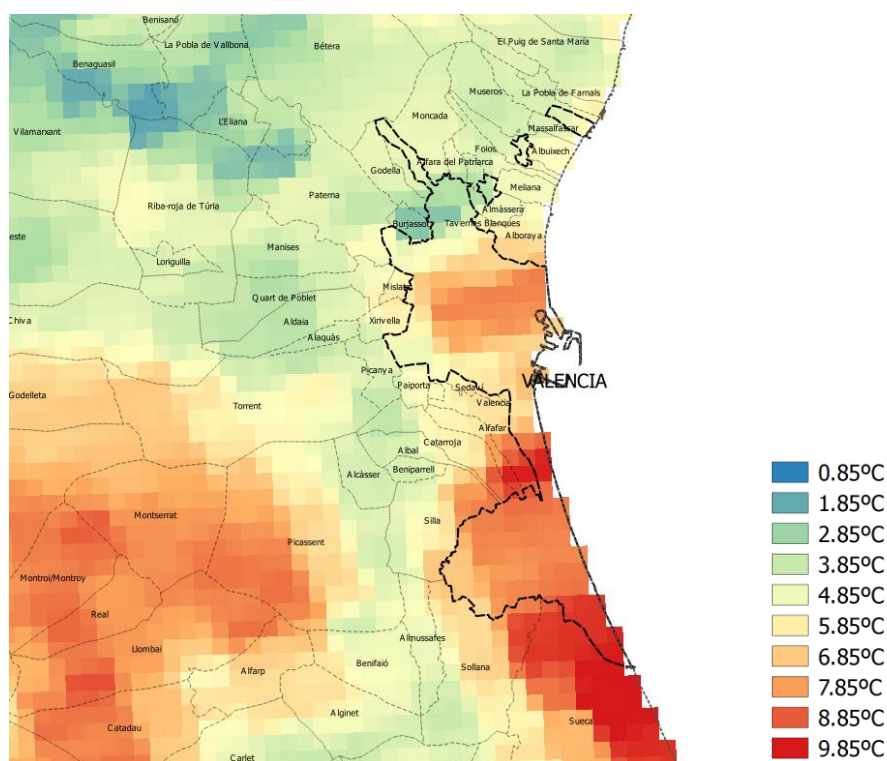


Figura 29. Valencia y entorno. Temperatura de la Superficie Terrestre nocturna  
16/01/2019

Fuente: MODIS Terra Land Surface Temperature (LST) Night 1 km - 16/01/2019

Gráfico: Elaboración propia mediante QGIS.

Así, la Albufera, como gran masa de agua y su Parque Natural, se constituye como una zona con gran inercia térmica, mostrando altos valores de temperatura en las noches de invierno, y valores bajos incluso durante la temporada estival diurna. Esta zona muestra un gran contraste

térmico con respecto a su entorno más inmediato. Esta situación genera un microclima que explica la gran variedad y especificidad de flora y fauna de la zona.

En lo que se refiere a la ciudad, Pérez Cueva describe desde un punto de vista climático y urbanístico su evolución, descripción que resulta interesante para comprender su estado actual (Pérez, 2001):

*"[...] Hubo un momento en la historia de la ciudad, caracterizada por el caos urbanístico producido por el crecimiento en explosión ligado al masivo éxodo rural, en que paradójicamente se creó una ciudad "óptima" para el calor estival: los innumerables retazos de huerta englobados dentro del caos urbanístico de la ciudad actuaban de microclimas beneficiosos y condicionaban que las alteraciones ambientales fuesen menores. Desde principios de la década pasada apenas quedan retazos de estos vastos "jardines urbanos" y se ha vuelto a la ciudad compacta. Las tendencias urbanísticas recientes van en el mismo camino. Es más, la reciente y actual expansión de la ciudad hacia el sureste está provocando que se estrangule la entrada natural de las brisas al centro y noroeste de la ciudad: cada vez la brisa llega más lenta y más recalentada, lo que agrava el discomfort estival en buena parte de Valencia. [...]"*

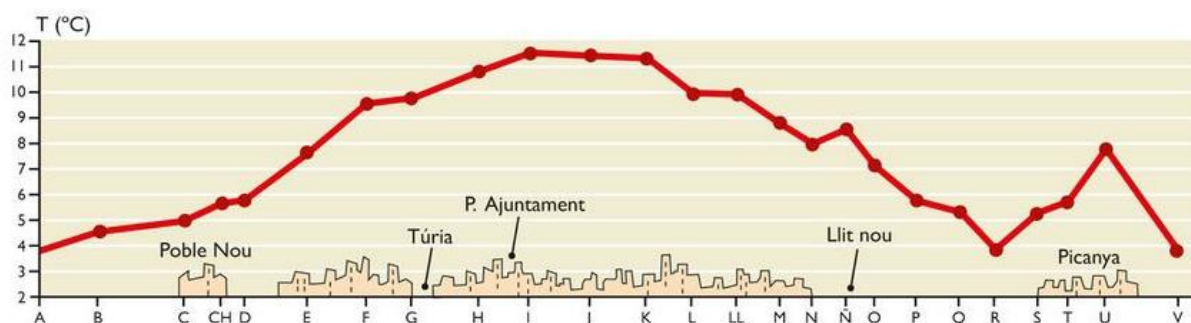


Figura 30. Ejemplo de perfil térmico N-S de Valencia y alrededores, el día 13 de febrero de 1989. El efecto de "isla térmica nocturna" de la ciudad es de unos 8°C, diferencia entre los 4°C de la periferia rural y los cerca de 12°C del centro de la ciudad

Fuente: Pérez Cueva, 2001.

Un estudio realizado sobre la ICU en la ciudad de Valencia mediante toma de datos terrestres y remotos, cifraba la diferencia máxima entre la ciudad y la periferia rural en 8°C (Caselles et al. 1991). Según el citado estudio, la ciudad de Valencia presenta tanto en invierno como en verano una ICU nocturna que alcanza unos 3°C en términos medios (sobre todo en las noches invernales), y una ICU diurna en torno a 1°C (Pérez, 2001).

El mismo Pérez Cueva recoge las consecuencias que esta diferencia de temperatura tiene sobre el confort térmico de los ciudadanos:



“[...] El efecto de estos cambios térmicos de las islas de calor en el confort es de distinta índole. En invierno la ciudad presenta unas temperaturas medias casi 2°C superiores a las de su entorno rural (sobre todo por el efecto de las intensas islas de calor nocturnas), lo que disminuye el desconfort por frío. En verano, en cambio, un aumento térmico, combinado con la disminución de la velocidad de las brisas, incrementa notablemente el desconfort por calor húmedo. La disminución de la HR (por aumento térmico) no tiene apenas efecto beneficioso, porque las propias brisas se encargan de renovar la entrada de humedad. Una alteración que marca notables diferencias ambientales dentro de la ciudad es el progresivo recalentamiento de la brisa, a partir de unas temperaturas originales casi siempre confortables. Este recalentamiento es claramente mayor en su recorrido urbano que en el campo. Dado que las brisas predominantes son las del sureste, la parte noroeste de la ciudad es la que presenta máximos recorridos urbanos de la brisa. Allí, el incremento térmico con respecto a los barrios costeros alcanza regularmente unos 4°C, suficiente como para pasar de condiciones que rozan el confort en los barrios marítimos (con brisas más fuertes además) a claramente agobiantes en el interior oeste de la ciudad. [...]”

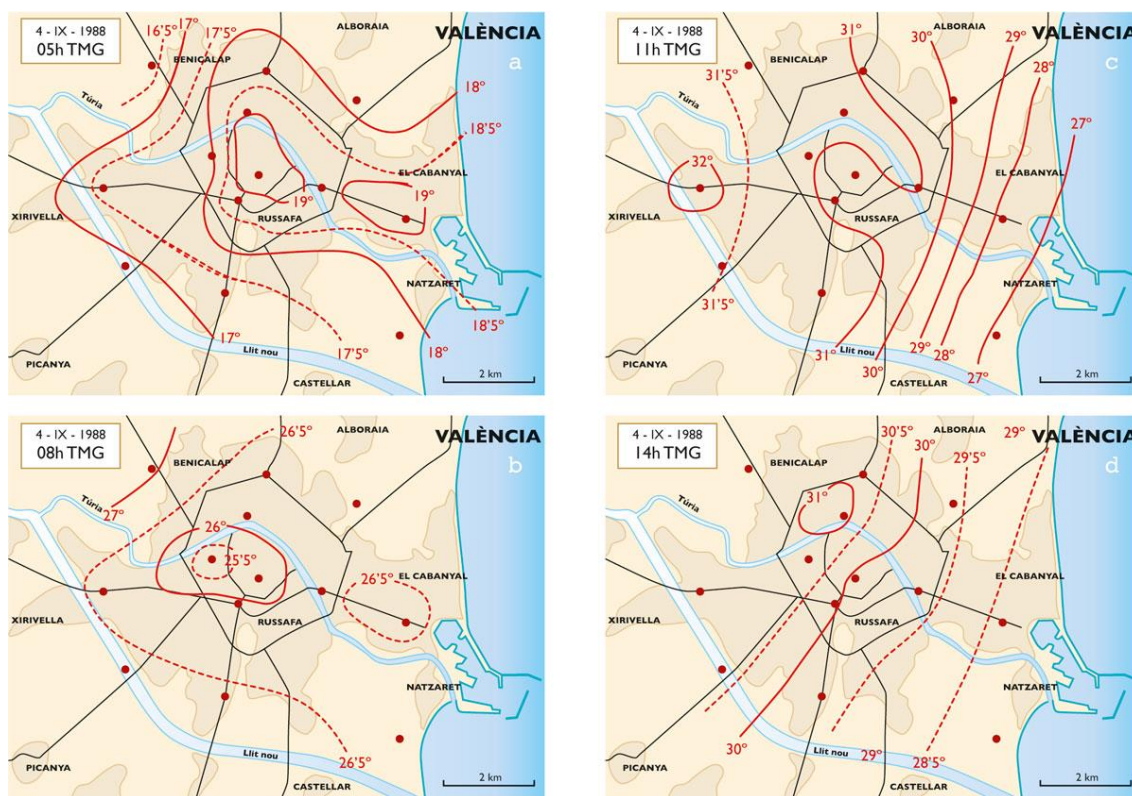


Figura 31. Evolución de los patrones térmicos espaciales de la ciudad de Valencia durante un día con brisa

- a) Patrón térmico de “isla de calor” nocturna, observado al final de la noche.
- b) Patrón térmico de “isla de frescor” en el centro de la ciudad, por el contraste entre una periferia urbana que ya recibe insolación y un interior urbano en sombra.
- c) Inicio de la instalación de un patrón térmico de brisas, con isotermas paralelas a la costa, en el que perduran todavía los restos de la “isla de frescor”.



d) Patrón térmico de brisas, con un litoral claramente más fresco que el interior y una ligera “isla de calor diurna” desplazada hacia el noroeste de la ciudad (según Pérez Cueva, 1994).

Fuente: Pérez Cueva, 2001. En la red: <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/clima-y-confort-en-las-ciudades-la-ciudad-de-valencia.html>

## METODOLOGÍA. OBTENCIÓN DE DATOS Y HERRAMIENTAS DE TRABAJO

En este trabajo se propone el uso de las imágenes de temperatura de la superficie terrestre proporcionadas por MODIS, y su tratamiento mediante el software de código libre QGIS, con el objetivo de evaluar la validez de estas herramientas para el estudio del fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Valencia. De este modo se obtendrá una metodología de estudio de la ICU basada en información y software de acceso fácil y gratuito, que permita el estudio y desarrollo de modelos más accesibles y eficientes del fenómeno.

El primer paso es consultar y descargar los datos disponibles de diversas fuentes de información disponibles. Para la realización de este trabajo se han consultado y extraído datos de diversas fuentes.

### Información del Ayuntamiento de Valencia

- Portal de transparencia del Ayuntamiento de Valencia  
[www.gobiernoabierto.valencia.es](http://www.gobiernoabierto.valencia.es)

Del portal de transparencia del Ayuntamiento de Valencia se han extraído datos georreferenciados referentes al planeamiento vigente en la ciudad. De los formatos disponibles, se ha utilizado el formato SHP, cuyos metadatos y campos son los que se indican en la propia página web:

- **PGOU - Calificaciones**

Calificaciones del suelo del Plan General de Ordenación urbana.

Clase: Clasificación del suelo

Califi: Calificación del suelo

Tipoca: Tipo de calificación.

Uso: Uso

Tipouso: Tipo de uso del suelo.

Origen: Origen del plan.

Ficha\_es: URL de enlace a la ficha de circunstancias urbanísticas en castellano

Ficha\_va: URL de enlace a la ficha de circunstancias urbanísticas en valenciano

**Sector: Urbanismo e Infraestructuras**

**Condiciones de uso:** [Atribución 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**Publicador:** Ayuntamiento de Valencia

**Fecha de creación:** 24/10/2014 11:04:56

**Última actualización:** 25/05/2015 10:29:47

**Frecuencia de actualización:** Semanal

**Formato:** SHAPE

**URL de acceso:**

<http://mapas.valencia.es/lanzadera/opendata/calificaciones/SHAPE>

- Oficina de estadística Ayuntamiento de Valencia

<http://www.valencia.es/ayuntamiento/estadistica.nsf>

Aquí se han consultado los datos evolución de la población de la ciudad a lo largo de los años:

### 1.1. Evolución de la población de la ciudad de València. 1857 - 2011

Año	Población de derecho	Población de hecho
1857	-	106.435
1877	142.063	143.861
1887	168.740	170.763
1900	215.687	213.550
1910	233.018	233.348
1920	247.281	251.258
1930	315.816	320.195
1940	454.654	450.756
1945	505.181	507.015
1950	503.886	509.075
1955	502.489	511.440
1960	501.777	505.066
1965	584.631	584.672
1970	648.003	653.690
1975	707.915	714.086
1981	744.748	751.734
1986	729.419	738.575
1991	752.909	777.427
1996	746.683	764.924
2001	738.441	-
2011	792.054	-

Tabla 01. Evolución de la población en la ciudad de Valencia entre 1857 y 2011

Fuente: Censos y Padrones. Instituto Nacional de Estadística.

Además de estos datos, para analizar la isla de calor urbana serán necesarios datos que excedan los límites del término municipal. Por este motivo en parte también ha sido necesario recurrir a otras bases de datos de rango superior.

## Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)

<https://www.cnig.es/home>

El Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) es un organismo autónomo adscrito al Ministerio de Fomento a través de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.

Entre sus funciones principales se encuentra la de garantizar la calidad y distribución de la información geográfica oficial, dando soporte al Consejo Superior Geográfico y promoviendo la formación y difusión del conocimiento.

De su centro de descargas se ha obtenido la siguiente información georreferenciada:

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE>

- **Líneas límite municipales**

**Descripción:** recintos municipales y líneas límite (municipales, provinciales y autonómicos).

**SGR:** ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y WGS84 en las Islas Canarias. Coordenadas geográficas longitud y latitud.

**Ud. descarga:** toda España

**Formato:** shape (.shp)

Esta geometría responde a la interpretación de los títulos jurídicos inscritos en el Registro Central de Cartografía (RCC): actas de línea límite, resoluciones administrativas, sentencias judiciales. Algunos tramos de líneas pueden ser "provisionales" al carecer de título jurídico que avale su geometría. Estas geometrías tienen una incertidumbre de unos 40 m, consecuencia de las precisiones de las mediciones de la época del levantamiento, trazados sobre el mapa y la posterior digitalización, con excepción de aquellas líneas en las que se han desarrollado una serie de trabajos técnicos y administrativos que han permitido la inscripción de una geometría más precisa. La cartografía oficial incluirá, exclusivamente, las Delimitaciones Territoriales inscritas en el RCC (Real Decreto 1545/2007I).

## MODIS. Temperatura superficial terrestre (LST)

**Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)** es un instrumento científico lanzado en órbita terrestre por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Se trata de sensores (en este caso dos), que viajan a bordo de los satélites *Aqua* (lanzado en 2002) y *Terra* (lanzado en 1999).

Este instrumento capta datos en 36 franjas espectrales, con longitudes de onda de entre 0,405µm y 14,385 µm, produciendo imágenes con resoluciones de 250m, 500m, y 1.000m.



En nuestro caso, los datos de temperatura superficial terrestre que recoge MODIS tienen una definición máxima de 1.000 metros (1 km).

Juntos, los instrumentos son capaces de cartografiar todo el planeta en plazos de uno a dos días. Fue diseñado para proveer medidas en gran escala de la dinámica global, incluyendo cambios en la cobertura de nubes, procesos que ocurren en los océanos, en la Tierra y en la atmósfera más baja.

Sus sensores poseen capacidad para detectar nubes de tipo cirrus, relacionadas con el calentamiento global; o incendios, pudiéndose distinguir llamas de brasas y realizar estimaciones mejores de una cantidad de aerosoles y de gases producidos por el fuego dispersos en la atmósfera. MODIS también permite cartografiar áreas cubiertas por nieve y hielo traídos por tempestades de invierno y temperaturas frías.

MODIS es capaz de captar gran cantidad de información. Los datos obtenidos describen características de la tierra, los océanos o la atmósfera, y pueden ser utilizados para estudiar procesos y tendencias a escala tanto local como global. Entre sus objetivos se encuentra la medición de la temperatura superficial de la tierra (mar y agua), que es el que nos interesa.

Una de las principales ventajas de los datos proporcionados por MODIS es que son fácilmente accesibles. Dependiendo del tipo de producto deseado, se encuentra alojados en un dominio web u otro. En concreto, los datos de temperatura de la superficie terrestre pueden ser consultados y descargados en la página web del centro de datos norteamericano *Land Processes Distributive Active Archive Center* (DAAC):



Figura 32. Información básica del centro de datos norteamericano Land Processes Distributive Active Archive Center (DAAC)

Fuente: [www.lpdaac.usgs.gov](http://www.lpdaac.usgs.gov)

La descarga de los datos es sencilla y gratuita a través de la página web de la Nasa: <https://search.earthdata.nasa.gov/>

Otra de las ventajas de los datos procedentes de satélite es que mide todos los puntos de forma indiscriminada, frente a las mediciones obtenidas mediante estaciones meteorológicas, que no siempre están ubicados en los lugares más apropiados de la ciudad para el análisis de la isla de calor.

Los datos utilizados en este estudio para el análisis de la isla de calor en la ciudad de Valencia son los codificados como MOD11A1 y MYD11A1 (Wan et al. 2015):

- **MOD11A1 - MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006**
- **MYD11A1-MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006**

Los datos *MODIS Land Surface Temperature* (MODIS LST) de la versión 6 (Wan, 2014) proporcionan información diaria de temperatura y emisividad de la superficie terrestre en forma de píxeles, con una resolución espacial de aproximadamente 1 kilómetro (km) en una cuadrícula de 1.200 por 1.200 km. Por encima de los 30 grados de latitud, algunos píxeles pueden tener múltiples observaciones donde se cumplen los criterios para cielo despejado. Cuando esto ocurre, el valor de píxel es el resultado del promedio de todas las mediciones observadas. Junto con las bandas de temperatura de la superficie diurna y nocturna se incluyen evaluaciones de control de calidad, tiempos de observación, ángulos de visión cenital y coberturas de cielo despejado junto con las bandas 31 y 32 de los tipos de cobertura terrestre (Land Processes Distributed Active Archive Center, US LP DAAC).

Los datos de temperatura MOD11A1 (LST) se construyen con los valores diarios de píxeles LST en cada gránulo recogido por el algoritmo en condiciones de cielo despejado definidas en MOD35 (con una confianza  $\geq 95\%$  sobre tierra  $\leq 2.000\text{m}$  ó  $\geq 66\%$  sobre tierra  $> 2.000\text{m}$ , y con una confianza  $\geq 66\%$  sobre lagos) mediante el mapeo de todos los valores LST de cielo despejado válidos.

Para latitudes superiores a los 30 grados, puede haber múltiples observaciones MODIS en condiciones de cielo despejado. En esta versión de los datos, los valores de temperatura (LST) en todas las cuadrículas provienen de las observaciones de MODIS de un solo cielo claro seleccionado LST de cielo despejado en ángulos cenitales de visión más pequeños o los LST en ángulos cenitales más grandes, pero sus valores son mayores en al menos 2K.

Table 1. Summary of the C6 MODIS LST data products.

Earth Science Data Type (ESDT)	Product Level	Nominal Data Array Dimensions	Spatial Resolution	Temporal Resolution	Map Projection
MOD11_L2	L2	2030 or 2040 lines by 1354 pixels per line	1km at nadir	swath (scene)	None. (lat,lon referenced)
MOD11A1	L3	1200 rows by 1200 columns	1km (actual 0.928km)	daily	Sinusoidal
MOD11B1	L3	200 rows by 200 columns	6km (actual 5.568km)	daily	Sinusoidal
MOD11B2				eight days	
MOD11B3				monthly	
MOD11A2	L3	1200 rows by 1200 columns	1km (actual 0.928km)	eight days	Sinusoidal
MOD11C1	L3	360° by 180° (global)	0.05° by 0.05°	daily	equal-angle geographic
MOD11C2	L3	360° by 180° (global)	0.05° by 0.05°	eight days	equal-angle geographic
MOD11C3	L3	360° by 180° (global)	0.05° by 0.05°	monthly	equal-angle geographic

Tabla 02. Resumen de los productos de datos sobre temperatura superficial de la Tierra (LST) de MODIS

Fuente: Wan, Zhengming. Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products. Users' Guide. December 2013

Los datos MODIS11A1 utilizados son producto de nivel 3 (L3). Se trata de producto geofísico que ha sido manipulado espacial o temporalmente, y que está en un formato de proyección de mapa cuadrículado denominado teselas o píxeles.

Los datos de temperatura de la superficie terrestre (MODIS LST) se encuentran en archivos de Formato de Datos Jerárquicos (Hierarchical Data Format, HDF). Se trata del formato de archivo estándar utilizado para los productos del *Earth Observing Data and Information System*, (EOSDIS).

Este tipo de archivos de contienen atributos globales -metadatos-, con información importante sobre la propiedad, producción y almacenamiento de los datos, entre otros. Por supuesto incorpora conjuntos de datos científicos (SDS) (matrices) con atributos locales. Pero además contiene información que permite la geolocalización de los datos.

De este modo podemos no solo obtener los datos, sino además asociarlos al punto geográfico exacto con el que se relacionan y generar una representación gráfica de éstos que permita una facilite la comprensión visual de los valores.

Al descargar los datos de la página web, obtenemos un archivo con las siguientes capas, de las cuales nos interesan las temperaturas de la superficie terrestre diurna y nocturna:

SDS Name	Description	Units	Data Type	Fill Value	No Data Value	Valid Range	Scale Factor	Additional Offset
LST_Day_1km	Daytime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02	N/A
QC_Day	Daytime LST Quality Indicators	Bit Field	8-bit unsigned integer	N/A	N/A	0 to 255	N/A	N/A
Day_view_time	Local time of day observation	Hours	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 240	0.1	N/A
Day_view_angl	View zenith angle of day observation	Degree	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 130	N/A	-85
LST_Night_1km	Nighttime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02	N/A
QC_Night	Nighttime LST Quality indicators	Bit Field	8-bit unsigned integer	N/A	N/A	0 to 255	N/A	N/A
Night_view_time	Local time of night observation	Hours	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 240	0.1	N/A
Night_view_angl	View zenith angle of night observation	Degree	8-bit unsigned integer	255	N/A	0 to 130	N/A	-85
Emis_31	Band 31 emissivity	N/A	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	0.002	0.49
Emis_32	Band 32 emissivity	N/A	8-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 255	0.002	0.49
Clear_day_cov	Day clear-sky coverage	N/A	16-bit unsigned integer	0	N/A	1 to 65535	0.0005	N/A

Tabla 03. Conjunto de datos científicos (SDS) de MODIS MOD11A1, con indicación de las utilizadas en el trabajo para el estudio de la ICU de Valencia.

Fuente: Wan, Zhengming. Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products. Users' Guide. December 2013

La unidad de medida en la que obtenemos la temperatura es el grado Kelvin (K), que traduciremos a grados centígrados (°C).

La medición de temperatura de forma remota a través del satélite supone la ventaja de obtener datos de forma simultánea, con una visión sinóptica. Por el contrario, está limitado por el tiempo entre mediciones del satélite y por la resolución de las imágenes arrojadas por éste.

El periodo estudiado es de un año completo, desde 20 de marzo de 2018 al 20 marzo de 2019, abarcando así las cuatro estaciones del año, que en el hemisferio norte cambian en las siguientes fechas:

Estación	Inicio	Hora
Primavera 2018	20 Marzo	16:14
Verano 2018	21 Junio	10:07
Otoño 2018	23 Septiembre	01:53
Invierno 2018	21 Diciembre	22:22
Primavera 2019	20 Marzo	22:58

Tabla 04. Estaciones, equinoccios y solsticios 2018-2019 para el hemisferio norte.

Fuente: <https://www.tutiempo.net>

### Usos del suelo. CORINE

Las siglas CORINE, *Coordination of Information of the Environment*, se corresponden con el programa coordinado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), que se inició en 1985, y cuyo objetivo es la creación y desarrollo de una base de datos coherente sobre la cobertura del suelo, los cambios en dicha cobertura y uso del territorio en toda Europa.

La construcción de datos se basa en la fotointerpretación de imágenes satelitales de los equipos nacionales de los países participantes (miembros de la EEA y países cooperantes). Los inventarios nacionales de cobertura terrestre resultantes se integran en un mapa de cobertura terrestre transparente de toda Europa, la cual se obtiene mediante una metodología unificada estándar y con una nomenclatura única para todos los países.

Gracias este programa, hoy contamos con una información perfectamente comparable entre los países, constituyendo una herramienta fundamental para la política medioambiental y estadística en el ámbito europeo.

En la Comunidad Valenciana, estos datos a escala 1:100.000 pueden ser descargados desde la página web de Infraestructura de Datos Espaciales (IDEV): <http://www.idev.gva.es/es/inicio>.

En este caso se han tomado los datos más recientes disponibles, correspondientes al estado de la cobertura terrestre / uso de la tierra del año 2018, en formato SHP (*shapefile*).

CLC2018 es uno de los conjuntos de datos producidos en el marco del programa Corine Land Cover que se refiere al estado de la cobertura terrestre / uso de la tierra del año 2018. La cobertura terrestre de Corine (CLC) es un programa europeo, cuyo fin es proporcionar información coherente sobre la cobertura del suelo y los cambios en la cobertura del suelo en toda Europa.

Los inventarios nacionales de cobertura terrestre resultantes se integran en un mapa de cobertura terrestre transparente de toda Europa, la cual se obtiene mediante una metodología



estándar y con una nomenclatura única para todos los países europeos. Así, el proyecto CLC 2018 consta de los siguientes parámetros básicos: 44 clases en la nomenclatura jerárquica de 3 niveles de Corine; una unidad de mapeo mínima (MMU) de 25 hectáreas; un ancho mínimo de los elementos lineales de 100 metros. El programa CLC proporciona conjuntos de datos importantes que respaldan la implementación de áreas prioritarias clave del Programa de Acción Ambiental de la Comunidad Europea como protección de ecosistemas, lo que detiene la pérdida de recursos biológicos; diversidad, seguimiento del cambio climático, evaluación de la evolución de la agricultura e implementación de la Directiva Marco del Agua de la UE, etc. El programa CLC también forma parte de la iniciativa de Monitoreo Global para el Medio Ambiente y la Seguridad (GMES <http://gmes.info>), dirigida por la Agencia Europea Comisión y la Agencia Espacial Europea, que proporcionarán información ambiental a partir de una combinación de observaciones basadas en el aire, el espacio y sistemas de seguimiento in situ (Institut Cartogràfic Valencià).

### **Superficie sellada. Copernicus**

El programa Copérnico, *Copernicus Land Monitoring Service* (CLMS), proporciona información geográfica sobre la cobertura de la tierra y sus cambios, los usos del suelo, el estado de la vegetación, el ciclo del agua y las variables de energía de la superficie terrestre. (<https://land.copernicus.eu/pan-european>)

Admite aplicaciones en una variedad de campos como la planificación espacial y urbana, la gestión forestal, la gestión del agua, la agricultura y la seguridad alimentaria, la conservación y restauración de la naturaleza, el desarrollo rural, la contabilidad de los ecosistemas y el estudio, mitigación y adaptación al cambio climático.

CLMS es un proyecto dirigido conjuntamente por la Agencia Europea de Medio Ambiente y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC), y lleva operativo desde 2012. El programa genera imágenes y datos de referencia proporcionan un mosaico de imágenes satelitales en alta y muy alta resolución y conjuntos de datos de referencia.

Los productos de impermeabilidad de alta resolución capturan el porcentaje y el cambio del sellado del suelo. Las áreas construidas se caracterizan por la sustitución de la cobertura del suelo (semi-) natural original o la superficie del agua por una cubierta artificial, a menudo impermeable. Estas superficies artificiales generalmente se mantienen durante largos períodos de tiempo. Se trata de una serie de conjuntos de datos de impermeabilidad de alta resolución (para los años de referencia 2006, 2009, 2012 y 2015) generadas a partir de estimaciones por píxel de la cobertura impermeable del suelo (sellado del suelo), y se asignan como el grado de impermeabilidad (0-100%) calculadas como una diferencia entre los años de referencia (2006-2009, 2009-2012, 2012-2015 y adicionalmente 2006-2012, y se presentan como grado de cambio de impermeabilidad (-100% - + 100%), en píxeles de 20 y 100 metros.

Los datos son fácilmente accesibles en la pestaña de descargas, eligiendo el cuadrante que corresponda. En el caso de Valencia es el E30N10, y se han descargado los datos más actualizados disponibles correspondientes al año 2015:

## Imperviousness Density 2015

Print

last modified Apr 02, 2019 02:29 PM

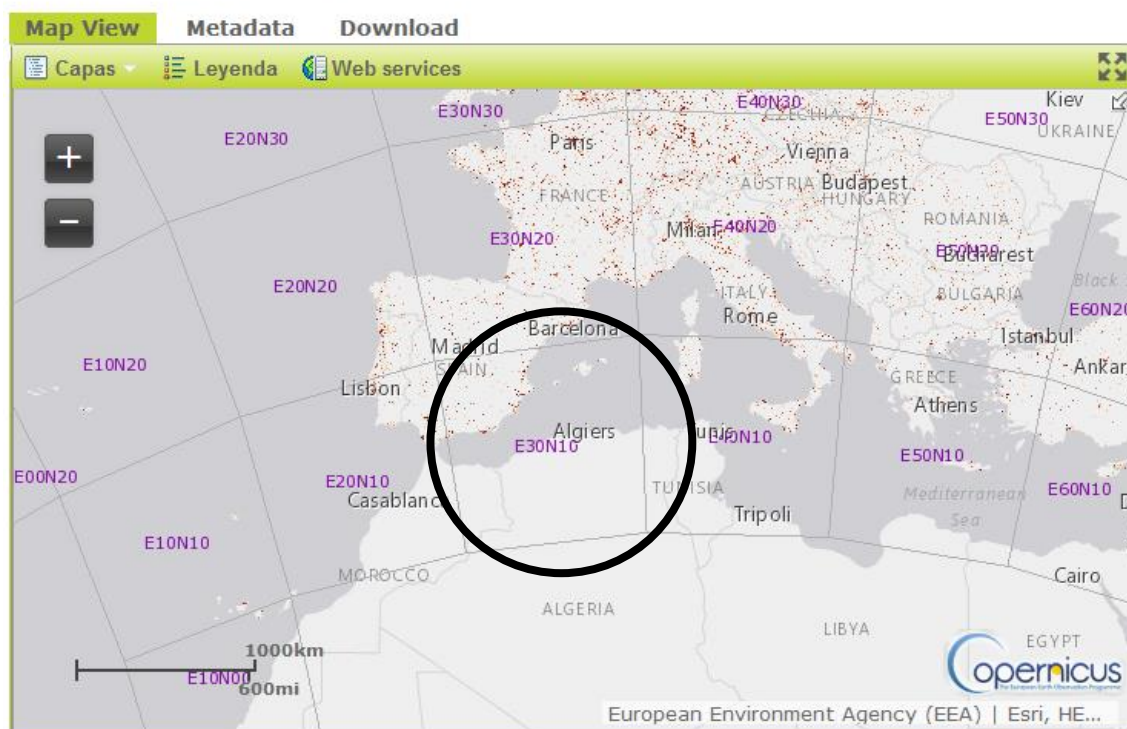


Figura 33. Captura de pantalla de la web de descarga de datos del programa Copérnico, con indicación del cuadrante usado para el estudio

Fuente: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/lcc-2012-2018>

Los datos se corresponden la versión 03 del año 2015. Y tienen una resolución de 100m. La impermeabilidad se ofrece con una graduación en valores de 0 a 100.

*Ver plano 003. Superficie sellada según Copernicus Land Monitoring Service 2015.*

### Ortofotografía 2018 y ejes de carreteras

También en la página web de Infraestructura de Datos Espaciales (IDEV) de la Generalitat se han obtenido las ortofotografías de la ciudad de Valencia y su entorno próximo, así como los ejes de carreteras de la Comunidad, que han servido de base para la creación y representación de algunos de los mapas que conforman este trabajo

([http://www.icv.gva.es/auto/aplicaciones/icv\\_geocat/#/results/ortofotos](http://www.icv.gva.es/auto/aplicaciones/icv_geocat/#/results/ortofotos)). El formato y datos de las imágenes obtenidas son los siguientes:

Ortofotografía RGBI y RGB de la Comunitat Valenciana a 25 cm de resolución. Fecha de vuelo: 13/06/2018 a 30/07/2018. Sistemas de referencia: ETRS89. Sistemas de proyección: UTM huso 30N. Formatos de almacenamiento: ECW (RGBI - 4 bandas) y TIFF (RGB - 3 bandas). Profundidad de color: 8 bits por banda. Provincias de Castellón y Valencia dentro del proyecto Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) 2018.

Dentro del grupo de datos de infraestructuras, aparecen los “Ejes de carreteras del CEGESEV (Centro de Gestión y Seguridad Viaria)”, a escala: 1/5000.

El resumen de las capas y bases de datos obtenidas y utilizadas, con su tipología y características son las siguientes:

CAPA	TIPOLOGÍA (EXTENSIÓN)	Resolución	ORIGEN DE DATOS	ÁMBITO	FECHA
Temperatura superficial terrestre nocturna y diurna	Ráster (hdf)	1.000m	NASA	Cuadrante Sur península+norte África	20/03/2018 a 20/03/2019
Ortofotografía aérea	Ráster (tif)	25 cm	PNOA	España	13/06/2018 a 30/07/2019
Planeamiento	Vectorial (shp) -polígonos-	---	Ayuntamiento de Valencia	Municipio Valencia	1990 (fecha del PGOU)
Usos del suelo	Vectorial (shp) -polígonos-	---	IDEV Generalitat Valenciana	Comunidad Valenciana	2018
Superficie sellada	Ráster (tif)	100m	Copernicus Land Monitoring	Cuadrante E30N10	2015
Límites municipales	Vectorial (shp) -polígonos-	---	CNIG	España	2007 (RD)
Ejes de carreteras	Vectorial (shp) -líneas-	---	CEGESEV	Comunidad Valenciana	2019 (revisión)
<b>HERRAMIENTA DE TRABAJO Y SUPERPOSICIÓN DE CAPAS: QGIS</b>					

Tabla 05. Resumen de las capas y bases de datos utilizadas, con indicación de sus características.

Fuente: Elaboración propia

## QGIS. Sistema de Información Geográfica (SIG) libre de código abierto

Se utiliza QGIS como herramienta básica para el tratamiento de datos. Como cualquier otro Sistema de Información Geográfica (SIG), permite la organización, almacenamiento, edición, análisis y representación de grandes cantidades de datos. Por ello su uso combinado con las diversas fuentes de open data resulta una herramienta muy interesante para el volcado de datos y representación de mapas georreferenciados que aporten una dimensión más –la espacial- a las tablas y bases de datos al uso.

El uso de una herramienta de SIG ofrece ventajas frente a las herramientas CAD. Los archivos CAD habitualmente permiten el enlace con una base de datos, pero no permiten una integración suficiente como para responder preguntas que combinen criterios alfanuméricos y espaciales. No cuentan con un lenguaje de consulta alfanumérico/espacial, ni la posibilidad del análisis de superposición, y normalmente el concepto de topología es más limitado. En definitiva, el SIG permite el trabajo con objetos más complejos.

Además, hay algunos tipos de datos característicos del SIG que un CAD no gestiona: datos ráster georreferenciados y con atributos, como los datos de temperatura superficial terrestre MODIS utilizados en este trabajo; o Modelos Digitales del Terreno, que no se pueden implementar eficazmente con un modelador de sólidos.

QGIS es un software libre y de Código Abierto licenciado bajo General *Public License* (GNU), y se trata de un proyecto oficial de la *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Es capaz de soportar numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos, que funciona sobre varios sistemas operativos.

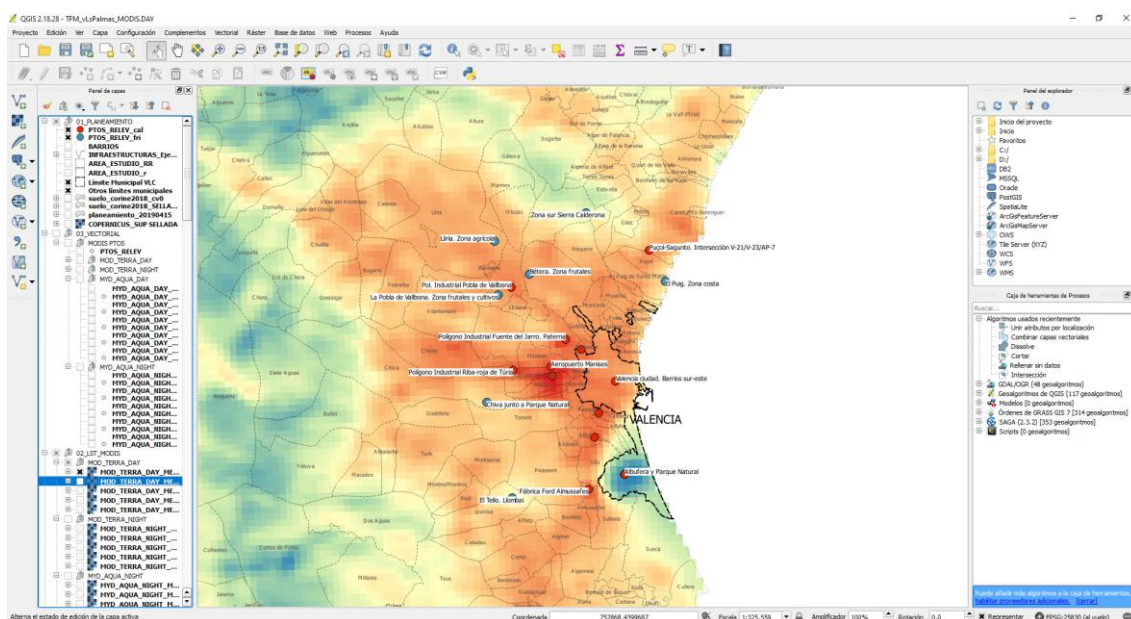


Figura 34. Captura de pantalla del programa QGIS. A la derecha el Panel de capas, donde se listan las capas utilizadas, tanto vectoriales como ráster.

Fuente: Elaboración propia

Se trata de un programa que además puede ser completado mediante la instalación de una gran cantidad de plugins, que constituyen los complementos necesarios para el desarrollo de análisis espaciales. El programa es capaz de trabajar tanto con datos vectoriales (shapefile, dxf, dwg...), como con imágenes ráster (TIFF, JPG, GeoTIFF...), en diferentes formatos y proyecciones.

Con esta herramienta y las diversas funcionalidades que permite se ha realizado la superposición y el tratamiento de la información geoespacial obtenida de las diferentes bases de datos consultadas.

Mediante el uso de esta herramienta se han desarrollado todos los planos de este trabajo, que muestran la representación gráfica de los datos obtenidos de las diferentes bases existentes, así como la generación de otras –a través de operaciones realizadas con las anteriores- y su superposición gracias a la georreferencia. Estos planos serán los que nos permitan visualizar y extraer conclusiones una vez analizados todos los datos obtenidos.

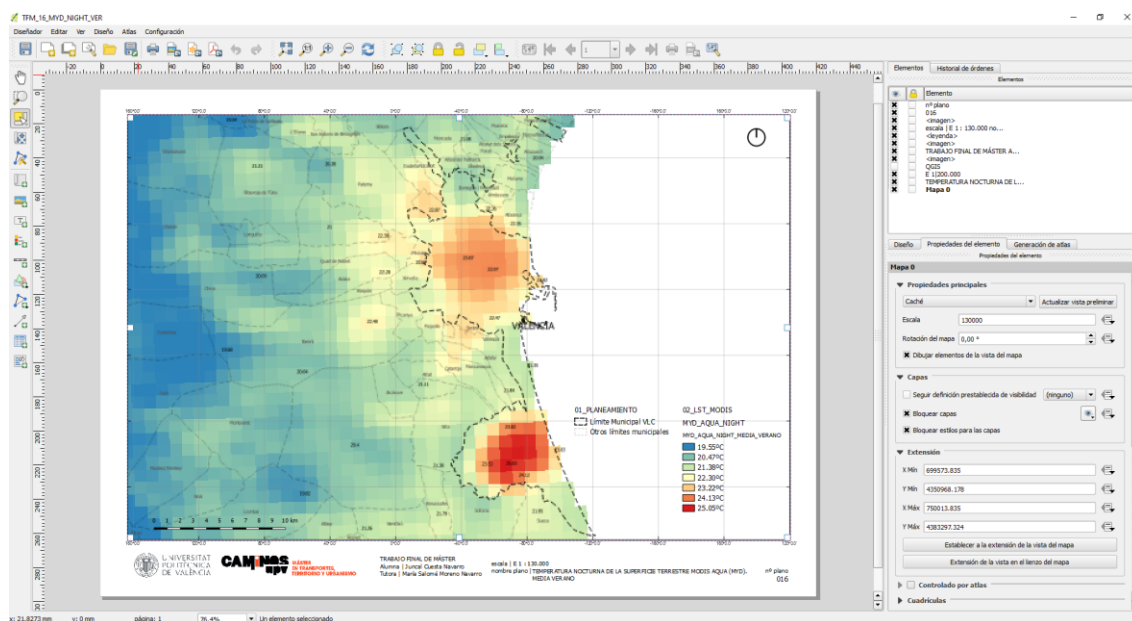


Figura 35. Captura de pantalla de herramienta Diseñadores de impresión de QGIS, mediante la que se han elaborado los planos de este trabajo.

Fuente: Elaboración propia

En la actualidad la versión 3.12 ha sido ya lanzada, y aunque las versiones más recientes contienen más herramientas, no son tan estables como las anteriores.

Para este trabajo se ha utilizado la versión estable 2.18 Las Palmas, lanzada en octubre de 2016, y denominada así debido a que fue presentada tras la decimocuarta reunión de desarrolladores celebrada en la isla.



Una vez obtenidos todos los datos y elegido el programa y versión de trabajo, el segundo paso consiste en integrarlos y armonizarlos para poder realizar los correspondientes análisis mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS.

## Procedimiento

El procedimiento seguido en la elaboración de los diferentes análisis recogidos en este trabajo es el que se reproduce a continuación.

En primer lugar se han calculado los datos medios de temperatura de la ciudad procedentes de satélite (datos MODIS) para las diferentes estaciones (primavera, verano, otoño, invierno y media anual) del periodo de estudio, para después compararlos con los datos de superficie sellada y grado de urbanización disponibles.

Los datos de superficie sellada se han estudiado a escala territorial mediante la base de datos de Corine Land Cover y Copernicus. La primera indica los usos del suelo en formato vectorial. La segunda indica directamente el grado de impermeabilidad del suelo en una escala de 0-100 en formato imagen (ráster). A escala ciudad, se ha asimilando la calificación del Plan General de Ordenación Urbana con el tipo de edificios reales que existen en la ciudad (grado de urbanización).



Figura 36. Esquema de trabajo. Comparativa de bases de datos, indicando el dato, su origen y su tipología. Fuente: Elaboración propia

A continuación, desarrollaremos cada una de las fases de las que se compone el procedimiento seguido:

1. Agrupación de calificaciones del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU):

En primer lugar analizamos el archivo vectorial en formato shapefile del Plan General de Valencia, constituido por polígonos. Cada uno de los polígonos contiene un campo denominado "califi", que contiene la calificación urbanística que le corresponde. Se observa que existen gran variedad de calificaciones urbanísticas, pero que en realidad muchas de ellas se corresponden con tipologías semejantes.

En consecuencia, para poder analizar este conjunto de datos según el objetivo que nos ocupa, en primer lugar se han agrupado de modo que sea posible identificar los diferentes tipos de desarrollo presentes en la ciudad. Las zonas según tipología edificatoria que se han considerado son las siguientes:

- Trama histórica
- Edificación Abierta
- Ensanche
- Edificación en Torre
- Equipamientos
- Edificación Unifamiliar
- Terciario/Industrial
- Espacios Libres
- Otros

Utilizando la calculadora de campos, y aplicando lenguaje de programación con formato condicional <CASE WHEN> en metodología SIG según contenido de los campos, obtenemos un campo nuevo, calculado en función del uso de los polígonos, con una fórmula del tipo:

```
CASE  
WHEN  
"califi" = 'AERP'  
OR "califi" = 'AR'  
OR "califi" = 'ARU'  
OR "califi" = 'RA'  
OR "califi" = 'UFA'  
THEN  
'UNIF'  
WHEN  
"califi" = 'ENS'  
OR "califi" = 'ENHT'  
THEN  
'ENS'  
END
```

Con ello obtenemos la agrupación y su consiguiente representación gráfica que necesitamos para poder analizar este conjunto de datos.

También se han analizado algunas parcelas de forma individual para poder incluirla con más precisión en el grupo más adecuado al que pertenece cada calificación.

El resultado de agrupar las calificaciones de los polígonos del municipio de Valencia queda de la siguiente forma:

TRAMA HISTÓRICA	
Código	Descripción
ARP1	Residencial Plurifamiliar compatible con terciario grado 1 (PE Marítimo)
ARP2	Residencial Plurifamiliar compatible con terciario grado 2 (PE Marítimo)
ARP3	Residencial Plurifamiliar compatible con terciario grado 3 (PE Marítimo)
CHP	Conjunto Histórico Protegido
NHT	Núcleo Histórico Tradicional
EDIFICACIÓN ABIERTA	
Código	Descripción
EAM	Edificación Abierta Mixto
EAM4	Edificación Abierta Mixto 4
EBM	Edificación bloque uso mixto
ECM	Edificación Cerrada Uso Mixto
EDA	Edificación Abierta
EDA1	Edificación Abierta 1
EDA2	Edificación Abierta 2
EDA3	Edificación Abierta 3
EDAM	Edificación Abierta uso Mixto 4
ER	Edificación uso Residencial Privado
RAM	Residencial Abierto uso Mixto
RED	Residencial Dominante
REP	Residencial Preferente
ENSANCHE	
Código	Descripción
ENHT	Ensanche Núcleo Tradicional
ENS	Ensanche
EDIFICACIÓN EN TORRE	
Código	Descripción
ERT	Edificación uso Terciario
ET	Edificación en Torre uso Terciario
ETM	Edificación Torre uso Mixto
ETR	Edificación de uso Terciario/Residencial
TOB	Torre y bloque
TOE	Torre exenta



EQUIPAMIENTOS	
Código	Descripción
AT	Área Terciaria y Recreativa
ATH	Área Terciaria
E/RD	Estructural Deportivo Recreativo
E/SP	Servicio Público Estructural Sociocultural
EP	Equipamiento Público
ESP2	Sistema Estructural Sociocultural
GEC	Sistema General Educativo
GFS	Sistema General de Defensa y Fuerzas de Seguridad
GSP	Sistema General de Servicios Públicos
GSR	Sistema General de Servicios Urbanos
PAD	Red Primaria Equipamiento Público
PDR	Red Primaria Dotacional
PED	Red Primaria Educativo Cultural
PED2	Red Primaria Educativo Cultural
PRD	Red Primaria Servicio Público
S/SD	Red Secundaria Dotacional
SAD	Red Secundaria Equipamiento Público
SAT	Red Secundaria Asistencial
SED	Red Secundaria Equipamiento Socio-Cultural
SEL	Red Secundaria Equipamiento Público
SP	Sistema Local Servicio Público Deportivo
TDMR	Terciario Dotacional Marina Real
EDIFICACIÓ UNIFAMILIAR	
Código	Descripción
AERP	Área Residencial Unifamiliar
AR	Asentamientos Rurales
ARU	Área Residencial Unifamiliar
RA	Residencial Abierto
UFA	Unifamiliar Aislada
TERCIARIO/INDUSTRIAL	
Código	Descripción
ATE	Área Terciaria
ATR	Área Terciaria compatible Residencial
ETE	Edificación Terciaria Exclusiva
IND	Industrial
PRI	Programado Industrial
SR	Sistema Local Servicios Urbanos
SR1	Sistema Local Servicios Urbanos
TED	Terciario Dominante
TER	Terciario
TERD	Terciario

ESPACIOS LIBRES	
Código	Descripción
E/EL	Espacios Libres
E/TD	Sistema Local Espacios Libres
GEL	Sistema General Espacios Libres
GLT	Sistema General Área Litoral
PA	Protección Agrícola
PH	Zona de Protección Histórico-Artística (entorno S. Miguel de los Reyes)
PJL	Red Primaria Jardines uso Deportivo
PM	Protección Agrícola y Medioambiental
PQL	Parque Metropolitano
PZV	Red Primaria Zonas Verdes
SJL	Red Secundaria Jardines
OTROS	
Código	Descripción
AES	Elementos Singulares Plan Especial Marítimo
AL	Área Logística
ARP	Área Reserva Patrimonial
ASP	ZAL
ASV	ZAL
E/RV	Sistema General Red Viaria Metropolitana
EC	Sistema Local Educativo Cultural
ERV	Sistema General Red Viaria
GIS	Sistema General de Infraestructuras Básicas y Servicios (agua, energía eléctrica...)
GRV	Sistema General Red Viaria
GTR	Sistema General Transporte: Uso de comunicaciones
MAR	Mar
PAT	Red Primaria Equipamiento Público Asistencial (Catedral)
PI	Protección Infraestructuras Red Viaria
PID	Red Primaria Infraestructuras
PPV	Red Primaria Viaria Áreas Peatonales
PRV	Red Primaria Viaria
PTR	Sistema General Transporte Área Portuaria
R1	Área de Reserva Residencial
R2	Área de Reserva Residencial
RERV	Reserva Primaria de Red Viaria
RV	Sistema Local Red Viaria
SAV	Red Secundaria Aparcamiento
SID	Red Secundaria Infraestructuras
SPV	Sistema Local Viario
SRV	Sistema Local Red Viaria Urbana

Tabla 06. Agrupación y clasificación de los usos del planeamiento de la ciudad

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de SHP calificaciones (actualizado 25/05/2015) portal datos abierto Ayuntamiento de Valencia; listado campo "califi" + informes de circunstancias urbanísticas PGOU Valencia.

Ver plano 002. Planeamiento.



## 2. Superficie sellada

Para comprobar la relación existente entre la intensidad de la ICU y el grado de urbanización, contrastaremos los datos de temperatura con el plano de usos del suelo de Corine 2018.

Disponemos del archivo vectorial en formato shapefile (.shp) constituido por polígonos. Cada uno de los polígonos contiene un campo denominado "DESC\_", que contiene la información sobre usos del suelo. Se observa que existen gran variedad de usos, que se corresponden con diferentes grados de sellado.

En consecuencia, para poder analizar este conjunto de datos según el objetivo que nos ocupa, se han agrupado de modo que los cultivos, bosques, pastizales etc. se corresponden con superficies permeables; las zonas en construcción y el tejido urbano discontinuo con superficie semipermeable (sellada de forma discontinuo); y zonas urbanas, infraestructuras se corresponden con un sellado total del suelo.

En resumen, la agrupación y clasificación de usos del suelo queda dividida en tres grandes grupos:

- Superficie permeable
- Superficie sellada discontinuo
- Superficie sellada

Cada uno de estos grupos comprende los usos recogidos en la siguiente tabla:

<b>SUPERFICIE PERMEABLE</b>
Arrozales
Bosque mixto
Bosques de coníferas
Bosques de frondosas
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes
Cursos de agua
Espacios con vegetación escasa
Frutales
Humedales y zonas pantanosas
Lagunas costeras
Láminas de agua
Mares y océanos
Marismas
Matorral boscoso de transición
Mosaico de cultivos
Olivares
Pastizales naturales
Playas, dunas y arenales
Prados y praderas
Roquedo
Salinas

Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural
Terrenos regados permanentemente
Tierras de labor en secano
Vegetación esclerófila
Viñedos
Zonas quemadas
Zonas verdes urbanas
<b>SUPERFICIE SELLADA DISCONTINUO</b>
Tejido urbano discontinuo
Zonas en construcción
<b>SUPERFICIE SELLADA</b>
Aeropuertos
Escombreras y vertederos
Instalaciones deportivas y recreativas
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
Tejido urbano continuo
Zonas de extracción minera
Zonas industriales o comerciales
Zonas portuarias

Tabla 08. Agrupación y clasificación de los usos del suelo.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de cobertura terrestre de Corine (CLC) 2018.

Este proceso se ha realizado utilizando la calculadora de campos, y aplicando lenguaje de programación con formato condicional <CASE WHEN> en metodología SIG según contenido de los campos, obtenemos un campo nuevo, calculado en función del uso de los polígonos, con una fórmula del tipo:

```

CASE
WHEN
"DESC_" = 'Arrozales'
OR "DESC_" = 'Bosque mixto'
OR "DESC_" = 'Bosques de coníferas'
OR "DESC_" = 'Bosques de frondosas'
OR "DESC_" = 'Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes'
OR "DESC_" = 'Cursos de agua'
OR "DESC_" = 'Espacios con vegetación escasa'
[...]
OR "DESC_" = 'Terrenos regados permanentemente'
OR "DESC_" = 'Tierras de labor en secano'
OR "DESC_" = 'Vegetación esclerófila'
OR "DESC_" = 'Viñedos'
OR "DESC_" = 'Zonas quemadas'
OR "DESC_" = 'Zonas verdes urbanas'

```

```
THEN  
'PERMEABLE'  
WHEN  
"DESC_" = 'Aeropuertos'  
OR "DESC_" = 'Escombreras y vertederos'  
OR "DESC_" = 'Instalaciones deportivas y recreativas'  
OR "DESC_" = 'Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados'  
OR "DESC_" = 'Tejido urbano continuo'  
OR "DESC_" = 'Zonas de extracción minera'  
OR "DESC_" = 'Zonas industriales o comerciales'  
OR "DESC_" = 'Zonas portuarias'  
THEN  
'SELLADA'  
WHEN  
"DESC_" = 'Tejido urbano discontinuo'  
OR "DESC_" = 'Zonas en construcción'  
THEN  
'SELLADA DISC'  
ELSE  
'O'  
END
```

*Ver plano 005. Superficie sellada según usos del suelo Corine Land Cover 2018.*

Disponemos de la superficie sellada de la ciudad de Valencia del año 1988, según el artículo de Caselles, López, Meliá y Pérez (Caselles et al., 1991), que ascendía a 32km<sup>2</sup>. Esto nos va a permitir comprobar cómo se ha modificado la superficie en los últimos 30 años (entre 1988 y 2018).

Una vez agrupados los datos de Corine en los tres grupos (superficie sellada, superficie sellada discontinuo y superficie permeable), se ha procedido a seleccionar y recortar las superficies dentro de los límites del término municipal de Valencia mediante la función vectorial disponible de QGIS “cortar”, y se ha representado la superficie sellada, con etiquetado de los barrios para una mejor comprensión del mapa sobre ortofoto de la ciudad.

Se ha grafiado mediante una línea amarilla el límite municipal de la ciudad de Valencia. En su interior, se aprecian zonas sin sombreado superpuesto a la ortofoto, que son las zonas permeables.

Las zonas selladas de forma discontinua aparecen con un sombreado azul claro, éstas se subdividen correspondiéndose con las de “tejido urbano discontinuo” y “zonas en construcción.”

Por último, se han grafiado las zonas de superficie sellada con un color azul más intenso, que incluyen: instalaciones deportivas y recreativas, infraestructuras de transporte, tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, y zonas portuarias.

*Ver plano 006. Superficie sellada municipio Valencia 2018. Usos del suelo Corine sobre ortofotografía aérea 2018.*

A continuación, se han sumado las superficies de los polígonos resultantes, aplicando los siguientes coeficientes:

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Superficie permeable	0
Superficie sellada discontinuo	0,5*
Superficie sellada	1

\*Siendo el criterio habitual utilizado en este tipo de trabajos estimar que el porcentaje sellado se encuentra dentro del orden del 50%, a la superficie sellada discontinua se le ha asignado el valor 0,5.

Tabla 09. Asignación de valores de coeficientes a las superficies según grado de sellado para el cálculo de la superficie sellada total.

Fuente: Elaboración propia

Con el área de cada uno de los polígonos y el coeficiente aplicado sobre ellos, se obtiene una superficie sellada de 49,91m<sup>2</sup>.

En la siguiente tabla observamos la evolución de la ciudad en los últimos 30 años, en lo que a población y superficie sellada se refiere:

CIUDAD DE VALENCIA			
Año	Población (hab)		Superficie sellada (km <sup>2</sup> )
1988	729.419 (1)		30,70 (3)
2018	791.413 (2)		49,91 (4)
	<b>Incremento de población (hab)</b>		<b>Incremento de superficie sellada (km<sup>2</sup>)</b>
	<b>61.994</b>		<b>19,21</b>

Tabla 10. Comparativa de la superficie sellada y población de la ciudad de Valencia. Años 1988-2018

Fuente: Elaboración propia

(1) Oficina Estadística del Ayuntamiento de Valencia. Evolución de la población de la ciudad de València. Dato del año 1986.

<http://www.valencia.es/ayuntamiento/catalogo.nsf/IndiceAnuario?readForm&lang=1&capitulo=2&tema=1&bdOrigin=ayuntamiento/estadistica.nsf&idApoyo=58FB3C7A3D56E414C1257DD40057EB6C>

(2) Instituto Nacional de Estadística. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero (2018) <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2903>

(3) Superficie del continuo de la ciudad citada en el artículo de Caselles (1991), donde se indica que en 1988, el continuo urbano ocupaba una superficie de 32km<sup>2</sup>, de los cuales 1,3km<sup>2</sup> eran superficie vegetal.

(4) Superficie sellada continua dentro del término municipal, calculado en QGIS, según polígonos de Usos del suelo Corine 2018 de tipología "Tejido urbano continuo" según procedimiento anteriormente descrito. *Ver plano 006. Superficie sellada municipio Valencia 2018. Usos del suelo Corine sobre ortofotografía aérea 2018* para mayor definición.

Según los cálculos anteriores, obtenemos que **la superficie sellada del término municipal ha aumentado en 19,21km<sup>2</sup>, un 62,6%, mientras que la población ha aumentado en casi 62.000 personas, lo que supone un incremento del 8,5%** con respecto a las cifras de finales de los años 80.

Es evidente que la superficie sellada de la ciudad ha crecido notablemente, muy por encima del aumento de la población, al menos en términos porcentuales. En el gráfico del INE bajo estas líneas observamos que la población de Valencia se ha mantenido estable, con pequeños crecimientos, a excepción de los primeros años de década los 2000, donde sí se produjo un aumento notable de residentes:



Figura 37. Evolución de la población de la ciudad de Valencia entre 1996 y 2019.

Fuente: INE. Instituto Nacional de Estadística

No obstante, debemos comparar los datos de incremento de superficie sellada con reservas, ya que no sabemos con qué parámetros se calculó en 1988, o si se tuvo en cuenta superficie más allá del término municipal. No obstante, el crecimiento de superficie sellada experimentado en la ciudad de Valencia resulta explicable si observamos los elevados índices de urbanización que tuvieron lugar en la ciudad durante la época del boom inmobiliario.

En este sentido, en las últimas décadas, la ciudad ha visto como la huerta del sur y del norte se transformaba en zona de expansión de la ciudad con actuaciones como el P.A.U. de Avenida de Francia, la Ciudad de las Artes y las Ciencias, los centros comerciales de "El Saler" o el Arena, la Zona de Actividad Logística del Puerto, los accesos al puerto, MercaValencia, la ampliación de la



depuradora y la creación de Ciudad del Transporte al sur, la urbanización de la zona norte junto al Palacio de Congresos (Campanar y Ademuz), o las actuaciones de Orriols y Benicalap.

Este aumento de la superficie sellada podemos representarla de forma gráfica a través del comparador de ortofotos del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Se trata de otra herramienta gratuita de gran utilidad que nos permite ver desde el aire la evolución de las ciudades y el territorio a lo largo de los años.

En las imágenes siguientes se ilustra, a través de cuatro fotografías de zonas urbanizadas de formas más o menos reciente, la evolución hacia una ciudad en expansión, que va transformando progresivamente los terrenos permeables de su entorno en superficies selladas, incentivando así el fenómeno de la isla de calor urbana.

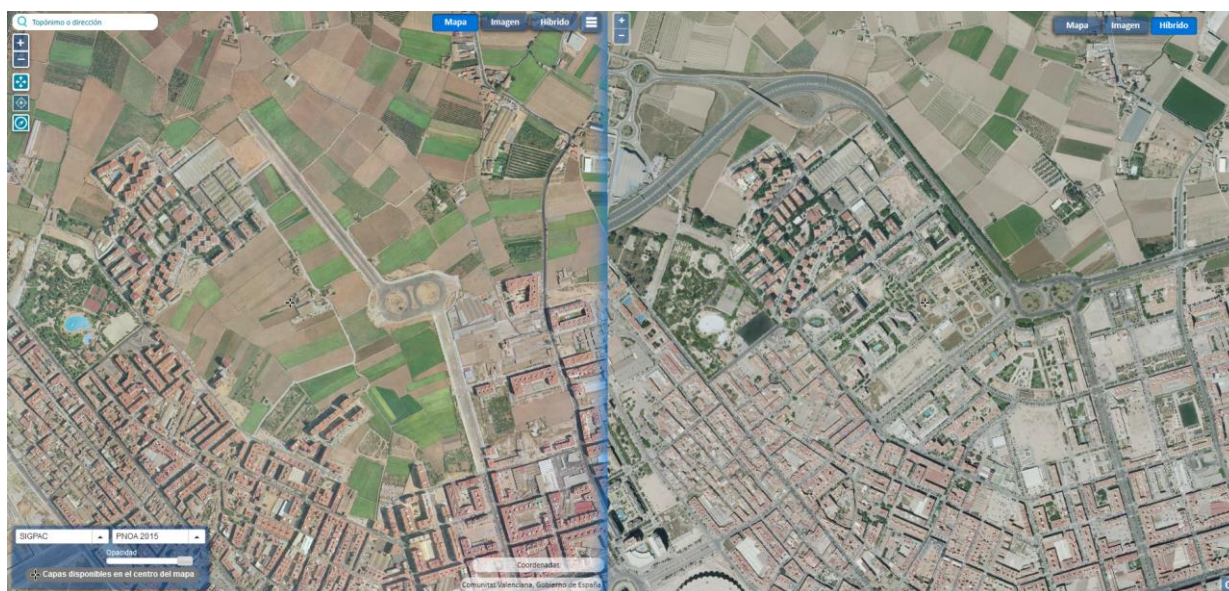


Figura 38. Comparador de ortofotografías zona norte Benicalap. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.

Fuente: IGN, Instituto Geográfico Nacional. Comparador de ortofotos PNOA.



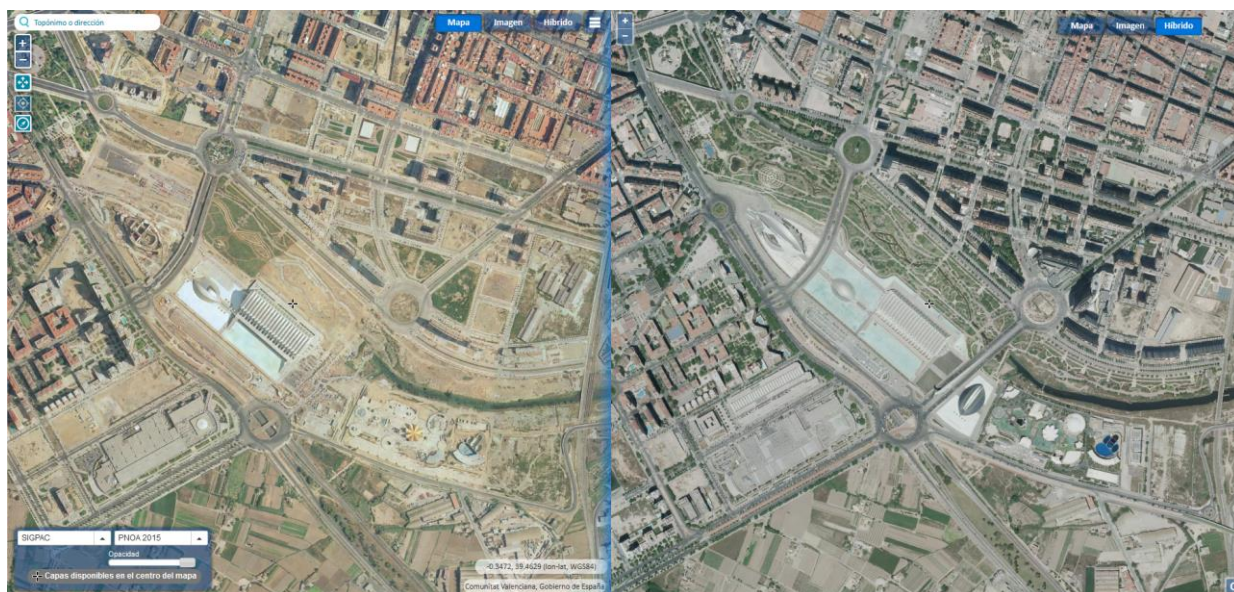


Figura 39. Comparador de ortofotografías zona Ciudad de las Artes y eje Avda. de Francia. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.

Fuente: IGN, Instituto Geográfico Nacional. Comparador de ortofotos PNOA.

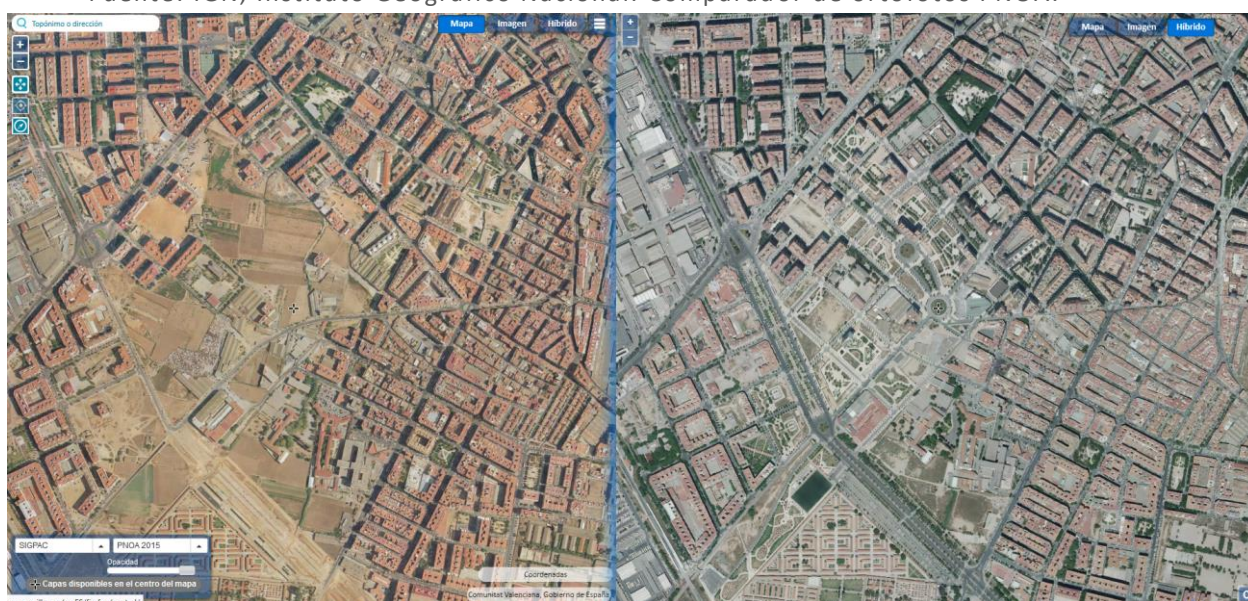


Figura 40. Comparador de ortofotografías zona sur, barrio de Patraix. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.

Fuente: IGN, Instituto Geográfico Nacional. Comparador de ortofotos PNOA.





Figura 41. Comparador de ortofotografías zona norte, Beniferri. SIGPAC 1997-2003 vs PNOA 2015.

Fuente: IGN, Instituto Geográfico Nacional. Comparador de ortofotos PNOA.

### 3. MODIS. DATOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE

Como se ha descrito anteriormente, en primer lugar se han obtenido los archivos de la base de datos Processes Distributive Active Archive Center (DAAC), seleccionando el cuadrante que contiene los datos de temperatura de la superficie terrestre de la ciudad de Valencia, para el periodo de estudio de un año, que va desde el 20/03/2018 al 20/03/2019.

El resultado de la descarga son 730 archivos en Formato de Datos Jerárquicos (*Hierarchical Data Format*, HDF); 365 procedentes del satélite *Aqua*, y 365 correspondientes al satélite Terra, que abriremos dentro del programa QGIS, utilizando la herramienta GRASS, que nos permitirá trabajar con datos de tipo ráster.

Dentro de cada uno de los archivos existen varias capas, de las cuales nos interesan las temperaturas de la superficie terrestre diurna y nocturna:

- LST\_Day\_1km. Contiene información de la temperatura de la superficie terrestre diurna.
- LST\_Night\_1km. Contiene información de la temperatura de la superficie terrestre nocturna.

Al abrirlas observamos imágenes de 16-bits con una resolución de 1km, que se previsualizan en escala de grises. Esto hace un total de 1.460 capas de trabajo. Consecuentemente, de cada uno de los 365 días analizados, tenemos 4 mediciones de temperatura:

- Satélite *Aqua* diurna (MYD LST\_Day\_1km)
- Satélite *Terra* diurna (MOD LST\_Day\_1km)
- Satélite *Aqua* nocturna (MYD LST\_Night\_1km)
- Satélite *Terra* nocturna (MOD LST\_Night\_1km)

Además, cada imagen contiene información geolocalizada de los datos, lo que nos permite asociarlos al punto geográfico exacto con el que se relacionan, y generar una representación gráfica de éstos que permita una fácil comprensión visual de los valores.

Para poder trabajar con cada una de las 1.460 capas de información, el primer paso consistirá en transformar todas ellas en formato GeoTiff, ya que el formato original arroja errores al aplicar herramientas de geoprocso sobre las imágenes.

Una vez obtenidas las imágenes GeoTiff, observamos que contienen datos de la temperatura de la superficie terrestre (LST) en grados Kelvin (K). Este dato se ha convertido a grados centígrados (°C) en la correspondiente tabla de propiedades de capa mediante la expresión:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

El siguiente paso será conseguir una representación de los valores fácilmente legible. Como hemos mencionado, la representación de los valores por defecto aparece en escala de grises.

En este caso se ha optado por la visualización de colores “*Spectral*” ofrecida por el programa, en su modalidad invertida. Así, se representan los valores más altos mediante colores rojos –tonos cálidos-; valores más bajos con colores azules -tonos fríos-; y con una gama intermedia de colores amarillos. El resultado es una representación de este tipo del cuadrante de información obtenido, para cada una de las capas analizadas:

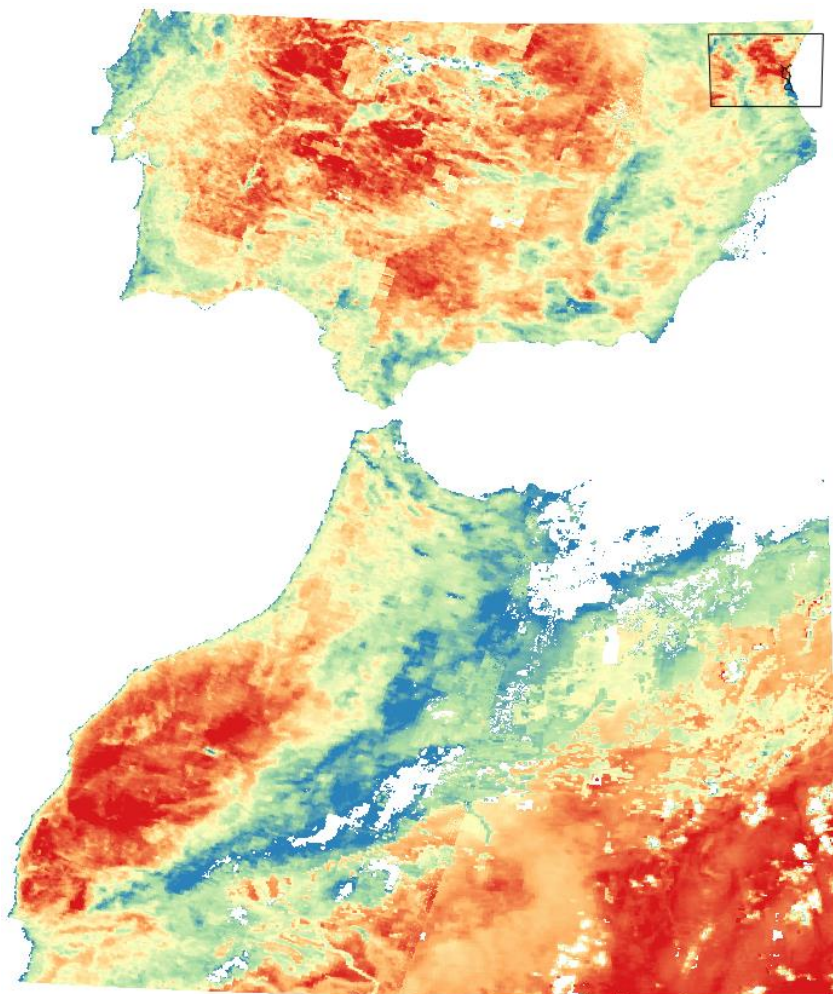


Figura 42. Cuadrante de MODIS de fecha 08/07/2019 con indicación del área de estudio.  
Datos: MODIS. Fuente: Elaboración propia

Ya en este primer acercamiento se observan claramente las variaciones climáticas de la geografía del sur de España y Norte de África.

Como se ha indicado previamente, el clima mediterráneo ofrece muchos días despejados. Esto supone una ventaja ya que la nubosidad apenas interferirá en la toma de datos del satélite.

No obstante, al acercarnos a nuestra área de estudio, la ciudad de Valencia, se observa que las imágenes poseen vacíos de información, ausencia de píxeles con datos de temperatura como la que se muestra en la siguiente imagen:



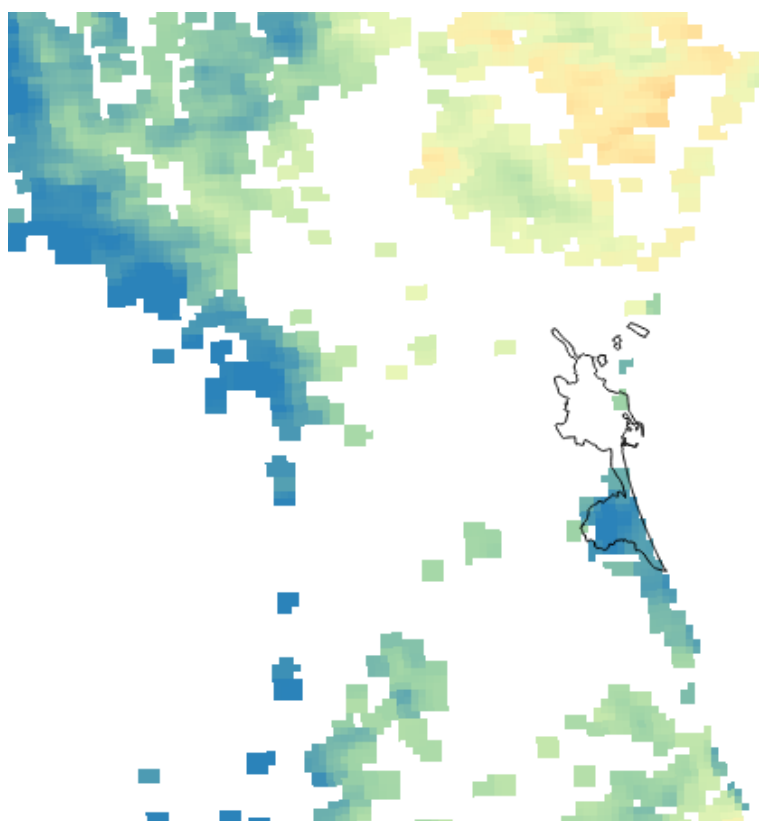


Figura 43. Objeto ráster con datos insuficientes en el área de estudio.  
Datos: MODIS. Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, se han observado y analizado una a una las imágenes, filtrando y eliminado todas aquellas capas con un porcentaje de píxeles vacíos en la zona de estudio superior al 50%. El resultado es un número más reducido de mediciones útiles para el estudio, que se resume en las siguientes tablas:

MODIS AQUA (MYD) LST	Número de datos útiles
Diurna Primavera 2018	34
Diurna Verano 2018	67
Diurna Otoño 2018	38
Diurna Invierno 2018	54
Nocturna Primavera 2018	36
Nocturna Verano 2018	50
Nocturna Otoño 2018	33
Nocturna Invierno 2018-19	61
<b>TOTAL</b>	<b>373</b>

MODIS TERRA (MOD) LST	Número de datos útiles
Diurna Primavera 2018	51
Diurna Verano 2018	72
Diurna Otoño 2018	42
Diurna Invierno 2018	50
Nocturna Primavera 2018	31
Nocturna Verano 2018	55
Nocturna Otoño 2018	44
Nocturna Invierno 2018-19	61
<b>TOTAL</b>	<b>406</b>

Tabla 11. Cantidad de datos útiles para el estudio de la ICU, una vez filtrados.  
Fuente: Elaboración propia

Observamos que en verano hay más datos válidos, mientras que en primavera se dispone de menos datos, probablemente debido a la nubosidad propia de cada una de las estaciones. En conjunto, podemos advertir que son útiles un porcentaje superior al 50% de las mediciones aportadas por MODIS. :

	Número de datos analizados	Número de datos útiles	Porcentaje de datos útiles sobre el total
MODIS Aqua (MYD)	730	373	51%
MODIS Terra (MOD)	730	406	56%
<b>TOTAL</b>	<b>1.460</b>	<b>779</b>	<b>53%</b>

Tabla 12. Porcentaje de datos útiles para el estudio de la ICU sobre el total analizado.  
Fuente: Elaboración propia

Una vez desestimadas las imágenes con información insuficiente, se han completado las imágenes que disponían de vacíos de información puntuales.

Al tratarse de datos de temperatura, es lógico suponer que la temperatura de un punto vacío rodeado de puntos con información se podrá inferir, interpolando los valores de los puntos adyacentes. Para ello se ha utilizado la herramienta ráster de Análisis “Rellenar sin datos” de QGIS.

Esta herramienta permite calcular regiones ráster sin valores de datos por interpolación desde los bordes. Los valores para las regiones sin datos se calculan mediante los valores de píxel circundantes utilizando ponderación de distancia inversa. Después de la interpolación, se realiza un suavizado de los resultados.

Este algoritmo generalmente es adecuado para interpolar regiones faltantes de imágenes que varían de forma bastante continua (como los modelos de elevación, por ejemplo). También es adecuado para rellenar pequeños agujeros y grietas en imágenes que varían de forma más irregular (como fotos aéreas).

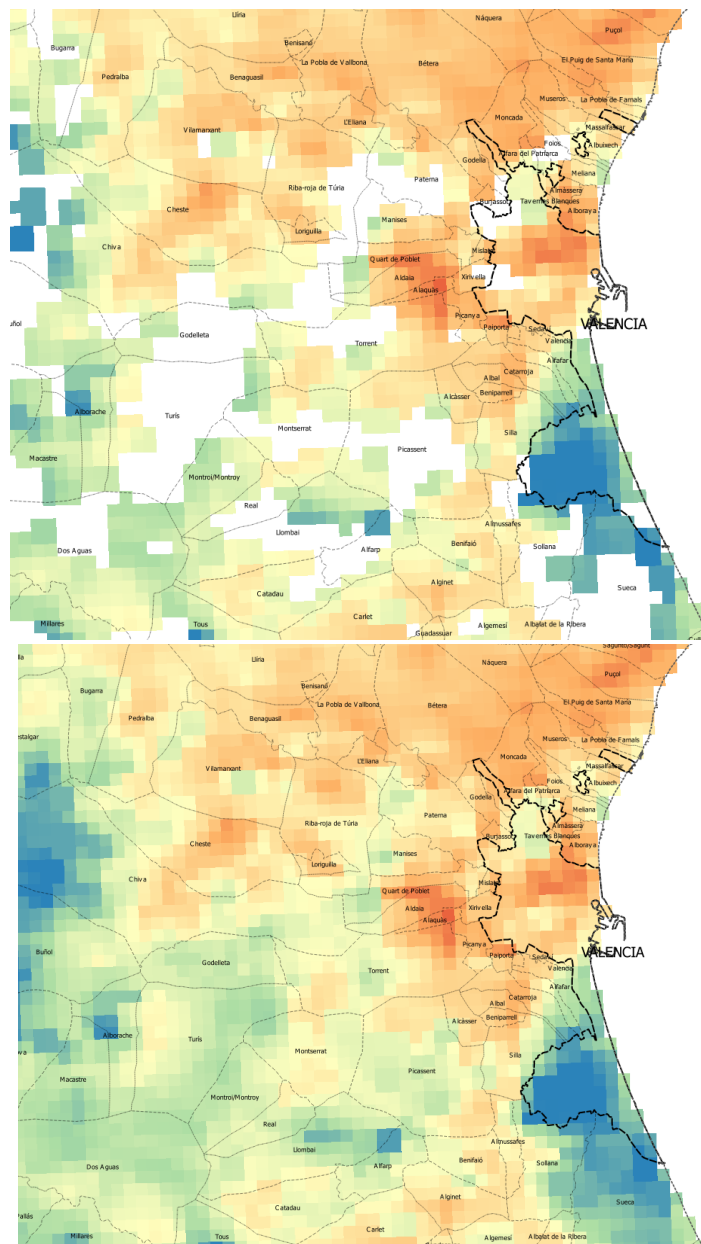


Figura 44. Imagen MODIS-TERRA LST 11/06/2018 antes y después de usar la herramienta “Rellenar sin datos”

Datos: MODIS. Fuente: Elaboración propia

Una vez completadas las imágenes, se ha utilizado la funcionalidad “Calculadora ráster” para calcular la temperatura media por estaciones y anual de cada uno de los grupos de datos.

La calculadora ráster es una herramienta que permite realizar operaciones matemáticas sobre los valores de los *píxeles* existentes en un ráster, lo que es útil para la conversión y manipulación de datos. El conjunto de operaciones que podemos realizar se encuadran dentro de lo que se conoce como álgebra de mapas y que nos permite realizar análisis geográficos.

El resultado de aplicar esta herramienta se representa en el conjunto de planos “*TEMPERATURAS SUPERFICIE TERRESTRE (LST) MODIS SATÉLITE AQUA/TERRA*” adjunto.

Ver planos 007 a 026.

La representación de colores elegida para visualización de temperaturas en los planos es la denominada “Spectral” ofrecida por el programa, en su modalidad “Invertir”. De este modo, se representan los valores más altos de temperatura mediante colores rojos; valores más bajos con colores azules -más fríos-; y con una gama intermedia de colores amarillos.

Se han escogido los valores extremos representativos en el cada mapa, y entre ellos se han establecido 7 intervalos iguales entre ellos.

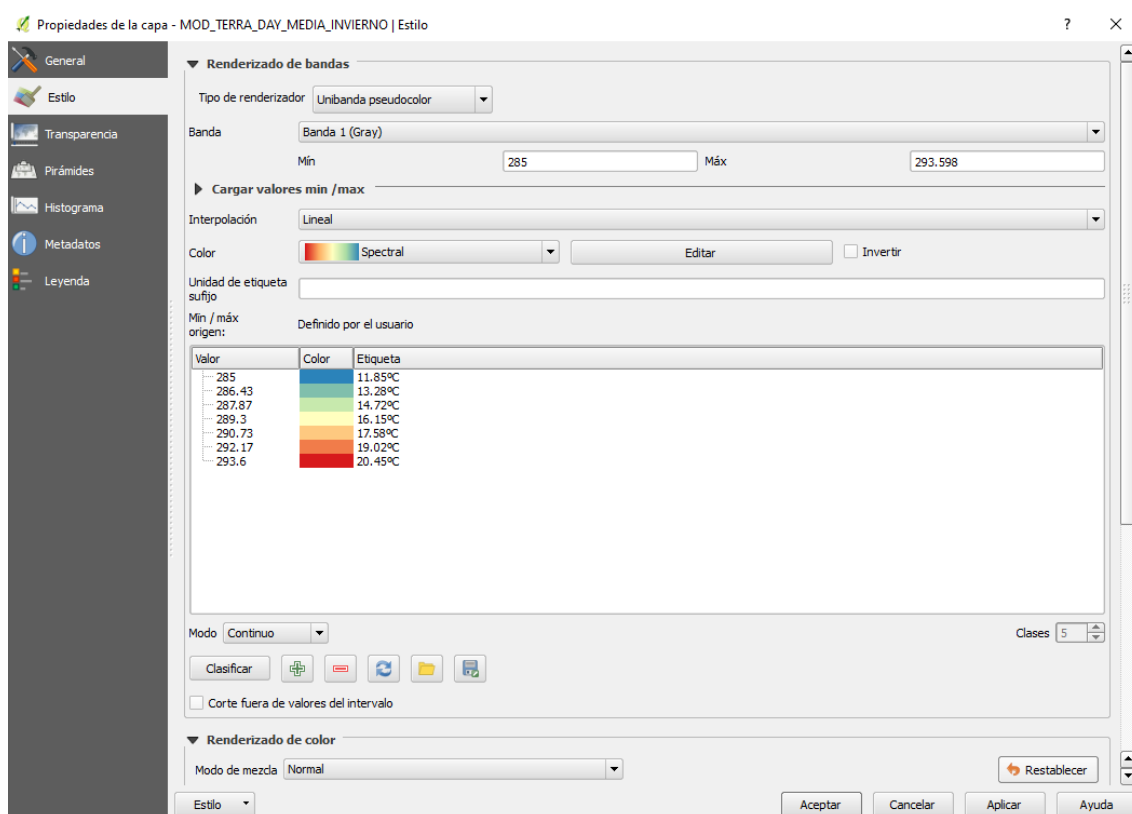


Figura 45. Configuración de las propiedades de capa de las capas ráster de LST de MODIS

Fuente: Elaboración propia

Obsérvese que la escala de colores utilizada es propia de cada plano. Es decir, los colores no se corresponden en todos los planos con una misma temperatura. Esto significa que una temperatura de 8°C, durante la noche de invierno, puede estar representada en un plano con un color rojo por ser el punto más cálido en esa estación y en ese momento. Sin embargo, en otros planos ese mismo valor de 8°C aparecerá representado en color azul (valores bajos) si se trata de una zona fresca, en comparación con el resto del territorio analizado, durante la noche de verano.

Puesto que el objetivo del trabajo es comparar la temperatura entre unas zonas y otras (de las zonas urbanas y antropizadas con las naturales), se ha representado de modo que se ha identificado el punto más cálido con el color rojo; el punto más frío con el color azul, y se han representado las temperaturas intermedias dividiendo la amplitud térmica en intervalos iguales, asignándoles colores intermedios como se puede apreciar en cada una de las leyendas. Los datos de temperaturas asociadas a cada color varían en cada plano.

Esta metodología, seleccionando el valor máximo y mínimo asignado a cada color (rojo para el valor de temperatura más alto; y azul para la mínima) ha sido elegida manualmente para cada plano, con el objetivo de mejorar su comprensión y representación gráfica.

Además de los colores, se ha incluido la etiqueta de las temperaturas y puntos más representativos de los planos para de nuevo para facilitar su lectura. Para ello ha sido necesario transformar la imagen en formato GeoTiff a una de tipo vectorial. Se ha utilizado en este caso la herramienta ráster “r.to.vect”, siendo la capa de salida un de puntos (Feature type: point).

Una vez convertida la capa en puntos, se han seleccionado los más relevantes, y se han etiquetado sus valores de temperatura. Los valores de temperatura disponibles se encuentran en grados Kelvin (K). En este sentido, se ha hecho uso de la herramienta “Calculadora de campos” para transformar estas temperaturas en grados centígrados °C, más fácilmente legibles para el lector.

El campo de salida nuevo se ha diseñado con las siguientes variables

- Nombre: Celsius
- Tipo de campo: Número decimal (real)
- Longitud del campo de salida: 3
- Precisión: 2
- Fórmula: campos “LST” – 273.15



## RESULTADOS

Observando los planos, se identifican las temperaturas máximas y mínimas nocturnas y diurnas para cada una de las estaciones. En el Anexo I de este documento se adjuntan las tablas que contienen los datos de temperaturas, en grados Celsius y Kelvin, junto con la identificación de los puntos de temperatura máxima y mínima diurna y nocturna; y sus principales características. De las tablas se pueden extraer una serie de puntos o islas de calor y frío que aparecen de forma recurrente, y que claramente se diferencian térmicamente de sus entornos próximos:

1. Polígono Industrial Aldaia y Els Mollons
2. Polígono Industrial Fuente del Jarro, Paterna
3. Aeropuerto de Manises
4. Polígono Industrial La Pobla de Vallbona
5. Burjassot, zona Feria de muestras
6. Polígono Industrial Riba-roja de Túria
7. Zona industrial en el entorno de la V-31
8. Fábrica Ford Almussafes
9. Albufera y Parque Natural
10. Valencia ciudad. Zona sur y sur-este
11. El Puig zona costa
12. Llombai. El Tello
13. Zona sur sierra Calderona: Gilet, Serra...
14. Liria
15. Sagunto-Puçol. Intersección V-21/V-23/A-7
16. Benetússer zona estación ferrocarril
17. Chiva,
18. Bétera. Zona Carraixet, zona agrícola
19. La Pobla de Vallbona. Zona agrícola

Todos ellos se han representado sobre plano. *Ver plano 027. Identificación de puntos singulares sobre ortofotografía 2018.*

Además de los puntos singulares, se advierten una serie de patrones de la ICU en la ciudad de Valencia y su entorno, que se describen a continuación:

En general, se observa una fuerte concentración de zonas calientes en el entorno de las principales infraestructuras viarias. Para su identificación se ha desarrollado un plano a escala territorial para observar este fenómeno. En él, se observa que aparecen líneas de calor en torno

a los principales ejes de comunicación terrestre: las carreteras. Este resultado parece lógico, ya que es, junto a las infraestructuras, donde más desarrollo y urbanización podemos encontrar.

*Ver plano 028. Temperatura de la superficie terrestre diurna otoño y ejes de carreteras.*

Otro de los resultados obtenidos es que la ICU excede los límites del urbanizado municipal, e incluso en ocasiones los límites administrativos de la ciudad. A pesar de que el epicentro de la isla de calor urbana se sitúa en la ciudad compacta, las infraestructuras, polígonos industriales y otros usos que se establecen fuera del término municipal también tienen efectos sobre la climatología (y también sobre la contaminación, sellado del suelo, etc.). En este sentido, de punto o isla de calor pasamos a “corredor de calor”. Lo cual pone en evidencia que es necesaria una estrategia global integradora para gestionar la ICU.

También resulta significativo que, en el caso de Valencia, se advierte que los polígonos industriales poseen una intensidad de ICU superior a la de la ciudad.

En cuanto a la media anual diurna no se aprecian grandes diferencias de temperatura entre la ciudad y su entorno. Sin embargo estas diferencias sí aparecen en los polígonos y zonas industriales. Por el contrario, en torno a la costa y a la Albufera encontramos temperaturas más equilibradas.

En la media anual nocturna la ICU arroja una intensidad de 2,6°C. Así, en la ciudad de Valencia se da la peculiaridad de la presencia del mar, que hace de elemento regulador de las temperaturas en las zonas urbanizadas de la costa, a pesar de tratarse de una zona con superficie sellada y tejido urbano continuo.

La Albufera, como gran masa de agua y su Parque Natural, se constituye como una zona con gran inercia térmica, mostrando altos valores de temperatura en las noches de invierno, y valores bajos incluso durante la temporada estival diurna. Esto supone un gran contraste con su entorno más inmediato. El microclima de esta zona hace que además posea una flora y fauna específicos, que lo convierten en un entorno Natural Protegido de un alto valor ecológico.

Durante la estación invernal, observamos que durante el día la intensidad de la ICU se concentra en los polígonos industriales del entorno, donde las temperaturas son hasta 3°C superiores a las de su entorno próximo: nos referimos a las zonas industriales de Aldaia, Fuente del Jarro y zonas situadas en torno a la V-31. En el interior de la ciudad las temperaturas son inferiores a las del entorno no urbanizado. Probablemente debido a que la edificación compacta impide el paso del sol. Asimismo, durante el día las zonas más frescas son las de la costa y el área de la Albufera. Durante la noche repite de nuevo la costa y se suma la del entorno de la ciudad, sin embargo la Albufera se convierte en un punto caliente. Es en esta estación, durante la noche, cuando ICU muestra una mayor intensidad, evidenciando la incapacidad de la ciudad de enfriarse durante la noche debido a su inercia térmica. En invierno la ciudad presenta unas temperaturas medias de hasta 3,5°C superiores a las de su entorno rural.

En primavera durante el día apenas se observa variación de temperatura entre la ciudad y su entorno, siendo los puntos que alcanzan mayores temperaturas los correspondientes a los polígonos industriales. Por el contrario, la Albufera y la costa aparecen como puntos más templados. La noche primaveral arroja una ICU en la ciudad de intensidad máxima 3,2°C.

En verano la intensidad de ICU nocturna ronda los 2,5°C. Durante el día las temperaturas no reflejan grandes diferencias con el entorno no urbanizado. Los polígonos industriales aparecen como focos de calor durante el día y en algunos casos, como el del polígono industrial en torno a la autovía A-3, se genera un continuo con la isla de calor de la ciudad, aunque de menor intensidad.

El otoño arroja resultados similares a los de la primavera. En esta estación aparecen con bastante claridad los ejes de calor asociados a las carreteras. Resulta especialmente interesante el efecto de isla de calor que aparece entre los municipios de Sagunto y Puçol, donde se produce la intersección de tres grandes vías: la V-21, V-23 y A-7. A pesar de que su entorno apenas está urbanizado sin sellar, y que se encuentra junto a una zona montañosa (El Picaio), este área muestra valores de temperatura bastante altos, similares a los del perímetro de la isla de calor urbana de Valencia.

Si analizamos la zona urbanizada de la ciudad a escala más cercana, se observan temperaturas superiores en la zona sur, concretamente en los barrios de Patraix, Monteolivete, Mestalla, Amistat y Ruzafa encontramos temperaturas algo superiores al del resto de barrios, a pesar de tener densidades y tipologías edificatorias similares.

Se ha realizado una superposición del planeamiento y las zonas edificadas, pero no se obtienen resultados relevantes ya que, a esta escala, la resolución de los datos de temperatura no resulta suficiente para obtener resultados concluyentes o significativos.

*Ver planos 029 y 030 Valencia ciudad. Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS Aqua, media anual vs Zonas Verdes / Superficie Sellada.*

Por último, cabe destacar las diferentes consecuencias que sobre la sensación de confort humana tiene el efecto de la ICU y sus modificaciones térmicas asociadas.. Así, en invierno la ciudad presenta unas temperaturas superiores a las de su entorno no urbanizado, lo que disminuye la sensación de frío. En verano, en cambio, un ligero aumento térmico, combinado con la disminución de la velocidad de las brisas predominantes del sureste, incrementa notablemente la incomodidad por calor húmedo. La compacidad edificatoria también hace que los vientos de la brisa desaparezcan en el interior de la ciudad, lo que supone un descenso del confort térmico, especialmente en verano. Sin embargo, la existencia de brisas predominantes del sureste hace que en los barrios costeros se alcancen condiciones de confort térmico, mientras que en las zonas más al interior y occidentales de la ciudad, las temperaturas alcanzan niveles muy alejados de ese confort deseable.



*Página en blanco*

## CONCLUSIONES

En este trabajo se propone el desarrollo de una metodología fundamentada en el uso en bases de datos abiertas y software libre para el estudio del fenómeno de la isla de calor urbana en las ciudades. Para ello se ha ensayado esta metodología en la ciudad de Valencia.

Mediante los datos de temperatura de la superficie terrestre obtenidos por satélite MODIS, los de superficie sellada de Copernicus, y otras bases de datos libres y de acceso gratuito, se han volcado los datos sobre un software de tipo Sistemas de Información Geográfica, también libre y de código abierto (QGIS), para su tratamiento. Una vez organizadas, superpuestas y procesadas todas las capas de datos, ha sido posible la representación de mapas georreferenciados de temperatura para el periodo de estudio.

La aplicación de esta técnica sobre la ciudad de Valencia ha permitido reconocer islas de calor e islas de frío, identificar en qué época del año la ICU tiene una mayor intensidad, o calcular su intensidad por estaciones meteorológicas.

Otra gran ventaja de esta metodología es que es fácilmente extrapolable y generalizable. Es decir, esta técnica es aplicable a cualquier otra ciudad o territorio del planeta, ya que MODIS dispone de datos accesibles de todos los cuadrantes terrestres. Esto significa que su uso permitiría relacionar y realizar estudios comparativos entre ciudades, territorios y países.

Los resultados indican que se trata de un método válido para evaluar y efectuar un primer acercamiento al estudio de la isla de calor urbana, aprovechando herramientas de acceso público, de fácil acceso y gratuitas. Su implementación puede ser de gran utilidad para identificar zonas sensibles, puntos fríos/calientes, sobre los que efectuar un estudio pormenorizado posterior.

Sin embargo, también se advierten algunas limitaciones. Como la gran mayoría de análisis basados en la toma de datos mediante satélite, la precisión de las imágenes es el mayor hándicap a la hora de analizar el fenómeno en todas sus facetas y escalas. La unidad mínima de información de temperatura de las imágenes de MODIS es de 1000m de lado (1 km<sup>2</sup>). Ésta información permite identificar la isla de calor urbana por contraposición al entorno circundante no urbanizado; y observar zonas de cierta entidad que se comportan térmicamente de modo distinto (por ejemplo La Albufera o el ámbito costero). Pero no permite diferenciar el comportamiento de los elementos diferentes de la ciudad de manera más singularizada y a menor escala. Por ejemplo, la metodología no permite extraer conclusiones precisas sobre el comportamiento de los parques con respecto a las zonas edificadas, o el grado de intensidad de la ICU según las diferentes calificaciones establecidas en el planeamiento y las densidades edificatorias aparejadas a las mismas. Para poder estudiar este fenómeno a escala manzana sería necesario un estudio posterior a una escala más cercana, con datos de mayor resolución, para analizar la correspondencia temperatura-grado de sellado del suelo.



## RIESGOS Y LIMITACIONES

El primer obstáculo al que nos enfrentamos al superponer capas con información procedente de varias fuentes es la interoperabilidad de las bases de datos que contienen esa información. Debemos asegurarnos de que todos los datos son comparables, equivalentes y superponibles, y en muchos casos el problema es la dependencia de la disponibilidad de datos contemporáneos para establecer comparativas. Por ejemplo, si se dispone de actualizaciones de usos del suelo (CLC – Corine Land Cover) de los años 2000, 2006, 2012, y 2018, debe tomarse la precaución de comprobar si los datos que vamos a tratar son comparables. Esto significa que si hubiésemos analizado las temperaturas de la superficie terrestre del año 2017, tendríamos que compararla con usos del 2012 (última fuente de datos disponible en 2017), con lo que resultaría probable que la comparativa realizada arrojará errores, pues se trata de datos obtenidos en diferentes momentos, el grado de sellado del suelo habría podido sufrir variaciones relevantes, y el resultado del análisis obtenido sería incorrecto.

En este estudio se han utilizado datos de planeamiento, y se ha tratado de comparar con la temperatura obtenida por satélite para averiguar si se reconocía una correlación entre ellos. En este tipo de cruce de datos es importante analizar qué grado de desarrollo posee el planeamiento de la zona de estudio al hacer comparativa. Por ejemplo, la ejecución del Parque Central no se ha finalizado por el momento, sin embargo, en el planeamiento aparece como una gran superficie de zona verde. No obstante, teniendo en cuenta que el planeamiento de Valencia fue aprobado en 1989, en líneas generales podemos considerar que 30 años después éste ha sido materializado en un porcentaje muy alto, lo que nos permite hacer el análisis con desviaciones aceptables.

Por otro lado, como hemos podido comprobar al analizar las imágenes de MODIS, existen mediciones de días en los que no hay datos de satélite. Aparecen puntos o incluso amplias zonas sin datos de temperatura. Esto supone el tener que analizar periodos de tiempo amplios para poder disponer de una cantidad de datos suficiente que nos permita rellenar esos huecos temporales en los que no hay datos. Por otro lado, también hace necesario tener que analizar cada archivo para asegurarnos de que no incluimos en las medias porciones de información vacía que distorsionarían gravemente el resultado.

En el caso de mediciones de temperatura, cabe mencionar la escasez de estaciones termométricas que permita contrastar y/o completar los datos del satélite. Además, los puntos de medición de temperatura no están ubicados en los lugares más apropiados para el análisis de la isla de calor ya que están ubicados en zonas urbanizadas.

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de este trabajo, efectuado con el producto de datos LST MODIS 11, se ha realizado el lanzamiento de MODIS 21. La nueva generación de datos MODIS *Land Surface Temperature and Emissivity* (LST & E) (MOD21) aplica simulaciones y algoritmos más elaborados y mejorados. El uso de esta nueva serie de datos puede aportar más precisión a los datos de temperatura, especialmente en regiones áridas y semiáridas<sup>2</sup>.

La aplicación de esta metodología de trabajo podría extrapolarse a otras ciudades y regiones del planeta. La disponibilidad de datos MODIS proporciona datos sobre toda la superficie terrestre, lo que permitiría el análisis comparado de puntos muy distantes a través de una misma tecnología.

La disponibilidad de datos de MODIS LST permitiría la comparación de zonas antes y después de zonas de reciente desarrollo de suelo. Resultaría de gran interés comprobar qué diferencia hay entre las temperaturas con superficie no sellada y las temperaturas una vez desarrollado, sellado, urbanizado y construido una zona concreta. Como se ha comentado la sección anterior, debido a la falta de precisión de los datos procedentes de satélite, la condición sería que se tratara de una superficie de terreno extensa, como por ejemplo un polígono industrial de nueva creación. También se abre la puerta a realizar estudios de la ICU con imágenes del satélite Landsat 8, que constituye otra fuente de datos a valorar en futuras investigaciones.

Ampliando el área de estudio, sería posible analizar áreas más amplias, por ejemplo, la totalidad del territorio nacional, en busca de “puntos calientes” y comprobar si se corresponden con ciudades o suelo antropizado.

Otra línea de trabajo interesante sería la de la creación de indicadores de calidad ambiental en relación a la ICU, a tener en cuenta en el planeamiento de cara a los futuros desarrollos urbanísticos previstos en los planes.

Por otro lado, de cara a la aparición de “corredores de calor” en torno a las grandes vías de comunicación terrestre, futuras líneas de investigación podrían analizar, con mayor profundidad y a mayor detalle, la relación entre las zonas calientes y las infraestructuras lineales presentes en el territorio, especialmente carreteras.

En resumen, todas estas líneas de investigación propuestas van encaminadas a mejorar la identificación y caracterización del fenómeno de la ICU, facilitando el desarrollo de estrategias e indicadores sencillos basados en el uso de datos y herramientas de acceso libre, al objeto de mitigar los efectos de la isla de calor urbana en la ciudad.

---

<sup>2</sup> <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/temp21.html>



*Página en blanco*

## REFERENCIAS

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET):

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/valencia-id46250>

Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., & Zinzi, M. (2016). Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1-16.

Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and applied climatology*, 84(1-3), 151-159.

Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2008). Global warming and the urban heat island. En *Urban ecology* (pp. 249-262). Springer, Boston, MA.

Arellano, B., & Roca, J. (2019). Áreas verdes e isla de calor urbana.

Arnfield AJ., Grimmond. C., (1998), An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. *Energy and buildings*, 27: 61–68.

Arrau, C.P., and Pena, M.A. (2010). The Urban Heat Island (UHI) Effect. En la red: <http://www.urbanheatislands.com>

Ashie Y, Thanh V C, Asaeda T., (1999), Building canopy model for the analysis of urban climate. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 81: 237–248.

Ayuntamiento de Valencia. Situación geográfica:

<https://www.valencia.es/ayuntamiento/laciudad.nsf?OpenDatabase&lang=1>

Azevedo, J., Chapman, L., & Muller, C. (2016). Quantifying the daytime and night-time urban heat island in Birmingham, UK: A comparison of satellite derived land surface temperature and high resolution air temperature observations. *Remote Sensing*, 8(2), 153.

Balling, R. C., Brazel, S. W., 1988: High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* **54**, 1289–1293.

Balogun, A. A., Balogun, I. A., Adefisan, A. E., & Abatan, A. A. (2009, January). Observed characteristics of the urban heat island during the harmattan and monsoon in Akure, Nigeria. In *Eighth Conference on the Urban Environment. AMS 89th Annual Meeting, JP4* (Vol. 6).

Barton, J. R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 5-30.

Bretz, S., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1998). Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric environment*, 32(1), 95-101.

- Blocken B., Defraeye T., (2009), "High-resolution CFD simulations for forced convective heat transfer coefficients at the facade of a low-rise building", *Building and Environment* 44, 2396–2412.
- Campoverde, A. S. B. (2018). Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador. *Investigaciones geográficas*, (70), 167-179.
- Capel, H. (2007). El debate sobre la construcción de la ciudad y el modelo Barcelona. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 11(229-255).
- Carlson, T. N., Dodd, J. K., Benjamin, S. G., Cooper, J. N., 1981: Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability, and thermal inertia *J. Appl. Meteor.* **20**, 67–87.
- Caselles, V., García, M. L., Meliá, J., & Cueva, A. P. (1991). Analysis of the heat-island effect of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite data. *Theoretical and Applied Climatology*, 43(4), 195-203.
- Chornet, A. P. (1999). Valencia: opciones, desorden y modernidad, o la ciudad que se devora a sí misma. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 3.
- Chow, W. T. L., & Roth, M. (2006). Temporal Dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology*, 26, 2243–2260. En la red: <https://doi.org/10.1002/joc.1364>
- Coral, D. S., Eric, D., & Turégano Romero, J. A. (2013). Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana. *Universidad de Zaragoza, Zaragoza*.
- Corburn, J. (2004). Confronting the challenges in reconnecting urban planning and public health. *American journal of public health*, 94(4), 541-546.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30-42.
- Fadigas, L. (2009). La estructura verde en el proceso de planificación urbana.
- Farina, A. (2012). Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. *LUMA-GIS Thesis*.
- Feng, H., Zhao, X., Chen, F., & Wu, L. (2014). Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. *Advances in Space Research*, 53(3), 463-473.
- Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87-95.
- García, M. C. M. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (17), 89-97.



- García, M. D. C. M. (1992). Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor", II. *Revista de geografía*, 26(1), 111-119.
- García, M. D. C. M., & Pardo, J. A. S. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*.
- Giridharan, R., Lau, S. S. Y., & Ganesan, S. (2005). Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. *Energy and Buildings*, 37(9), 964-971.
- Golden, J. S. (2004). The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions—a sustainable urban engineering complexity. *Environmental Sciences*, 1(4), 321-349.
- Gossman, H., 1986: The influence of geography on local environment as inferred from night thermal infrared imagery. *Remote Sensing Rev.* 1, 249–275.
- Griggs, D. J., & Noguer, M. (2002). Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*, 57(8), 267-269.
- Hafner, J., & Kidder, S. Q. (1999). Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of applied meteorology*, 38(4), 448-465.
- Han, Y., Taylor, J. E., & Pisello, A. L. (2015). Toward mitigating urban heat island effects: Investigating the thermal-energy impact of bio-inspired retro-reflective building envelopes in dense urban settings. *Energy and Buildings*, 102, 380-389.
- Hasanlou, M., & Mostofi, N. (2015, June). Investigating urban heat island estimation and relation between various land cover indices in Tehran city using Landsat 8 imagery. In *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Remote Sensing, Basel, Switzerland* (pp. 1-11).
- Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Current Environmental Health Reports*, 15–17. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>
- Heidt, V., & Neef, M. (2008). Benefits of urban green space for improving urban climate. In *Ecology, planning, and management of urban forests* (pp. 84-96). Springer, New York, NY.
- Hien, W. N. (2016). Urban heat island research: Challenges and potential. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 276-278.
- Houet, T., & Pigeon, G. (2011). Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors—an application on Toulouse urban area (France). *Environmental pollution*, 159(8-9), 2180-2192.
- Howard, L. (1818). *The climate of London* (Vol. 1). W. Phillips, sold also by J. and A. Arch.



Hung T., Uchiyama D., Ochi S., Yasuoka Y., (2005), Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information*, 8(1): 34–48.

IGN. Instituto Geográfico Nacional. En la red: [www.ign.es](http://www.ign.es)

INE. Censo de población y vivienda 2011.

Datos disponibles en: [http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_inicio.htm](http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm)

Jusuf, S. K., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., & Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat international*, 31(2), 232-242.

Kaloush, K. E., Carlson, J. D., Golden, J. S., & Phelan, P. E. (2008). *The thermal and radiative characteristics of concrete pavements in mitigating urban heat island effects* (No. PCA R&D SN2969).

Kaplan, G., Avdan, U., & Avdan, Z. Y. (2018). Urban heat island analysis using the landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 2, No. 7, p. 358).

Kaplan, G., Avdan, Z. Y., & Avdan, U (2018). Urban Heat Island Analysis—Eskişehir, Turkey.

Kato, S., & Yamaguchi, Y. (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 44-54.

Kikon, N., Singh, P., Singh, S. K., & Vyas, A. (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data. *Sustainable Cities and Society*, 22, 19-28.

Kim Y., Baik J., (2005), Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44: 591–605.

Klysik K., Foruniak K., (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban island of Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*, 33, 3885-3895.

Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 80(4), 383-392.

Kondoh A, Nishiyama J., (1999), Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo Metropolitan Area, Japan. *Advances in Space Research*, 26: 1173–1176.

Land Processes Distributed Active Archive Center, US LP DAAC.  
<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a1v006/>

Landsberg, H. E. (1981), *The urban climate*. New York: Academic Press.

Lefebvre (1976). *Revolución urbana*. Ed. Alianza.



- Lemus-Canovas, Marc, et al. Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 699, p. 134307.
- Li, H., Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., & Sodoudi, S. (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of the total environment*, 624, 262-272.
- Magee, N., Curtis, J., & Wendler, G. (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and applied climatology*, 64(1-2), 39-47.
- Manley, Gordon. 1958. On the frequency of snowfall in metropolitan England, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 84, pp.70-72
- Martínez, M. D., Pons, X. L., De Larrocha, C. S., Roca, J., Arellano, B., Arenas, R. B., & Moix, M. (2019). Características de la isla de calor urbana en Barcelona (NE España) en el periodo 2006-2017.
- Martin-Vide, J., Sarricolea, P., Moreno-García, M.C. (2015). On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Front. Earth Sci.* 3, 24. En la red: <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00024>.
- Matson, M., McClain, E. P., McGinnis, D. F., Jr., Pritchard, J. A., 1978: Satellite detection of urban heat islands. *Mon. Wea. Rev.* **106**, 1725–1734.
- Meng, L., Mao, J., Zhou, Y., Richardson, A. D., Lee, X., Thornton, P. E., & Jia, G. (2020). Urban warming advances spring phenology but reduces the response of phenology to temperature in the conterminous United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 19, 200-206.
- Morini, E., Touchaei, A. G., Castellani, B., Rossi, F., & Cotana, F. (2016). The impact of albedo increase to mitigate the urban heat island in Terni (Italy) using the WRF model. *Sustainability*, 8(10), 999.
- Morris, C. J. G., Simmonds, I., & Plummer, N. (2001). Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology*, 40(2), 169-182.
- Naranjo Silva, C. L. (2005). Estudio del comportamiento del viento y su influencia en la dispersión de los contaminantes del aire en la ciudad de Guayaquil.
- Núñez Peiró, M., Román López, M. E., Sánchez-Guevara Sánchez, C., & Neila Gonzalez, F. J. (2016). Hacia un modelo dinámico para la isla de calor urbana de Madrid. Towards a Dynamic Model for the Urban Heat Island of Madrid. *Anales de edificación*, 2(1), 49-58.

Núñez M., Oke T.R., (1977), "The energy balance of an urban canyon". *Journal of Applied Meteorology*; 16: 11–9.

Oke T.R. (1978), "Boundary Layer Climates", Methuen, London. En la red: [https://www.academia.edu/16752781/T. R. Oke - Boundary Layer Climates 1988 .PDF](https://www.academia.edu/16752781/T._R._Oke_-_Boundary_Layer_Climates_1988_.PDF)

Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277. En la red: <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>

Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and environment*, 46(11), 2186-2194.

Onmura, S., Matsumoto, M., & Hokoi, S. (2001). Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and buildings*, 33(7), 653-666.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017). Asma. Datos y cifras. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/asthma>

Paolini, L. (2012). Análisis de la respuesta de la temperatura de superficie al crecimiento urbano utilizando series temporales MODIS. *Revista de Teledetección*, 38, 28-35.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F. M., & Myneni, R. B. (2011). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2), 696-703.

Pérez Cueva, A.J. Clima y confort a les ciutats: la ciutat de València. Mètode. Valencia: Universidad de Valencia, Otoño de 2001, nº 31. En la red: <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/clima-y-confort-en-las-ciudades-la-ciudad-de-valencia.html>

Pongracz R., Bartholy J., Dezso Z., (2006), Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research*, 37(12): 2191–2196.

Pozzi, S. (2010) "El mundo se hace urbano. El aumento de las ciudades pequeñas marca el declive de la población rural". En la red: <https://cutt.ly/yrCCNVj>

Price, J. C., 1979: Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. *Mon. Wea. Rev.* **107**, 1554–1557.

Ramiro, E. (2006). Una isla que se mueve (Aproximación a la isla de calor urbana de Algemesí, Valencia y su aprovechamiento didáctico). *Didáctica Geográfica*, (8), 33-50.

Rao, P. K., 1972: Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **53**, 647–648.

Rasul, A., Balzter, H., & Smith, C. (2015). Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. *Urban climate*, 14, 176-186.

- Rigo, G., Parlow, E., & Oesch, D. (2006). Validation of satellite observed thermal emission with in-situ measurements over an urban surface. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 201-210.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.
- Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Paschall, L., Chopping, M., (2005), Characterizing the urban heat island in current and future climates New Jersey. *Environmental Hazards*, 6, 51-62.
- Roth, M., Oke, T. R., Emery, W. J., 1989: Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Int. J. Remote Sensing* 10, 1699–1720.
- Rupa Basu, Jonathan M. Samet, Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality (2002): A Review of the Epidemiologic Evidence, *Epidemiologic Reviews*, Volume 24, Issue 2. Pages 190–202. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- Saitoh, T. S., Shimada, T., & Hoshi, H. (1996). Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3431-3442.
- Santana, L.M. (2007). LandsatETM+ image applications to extract information for environmental planning in a Colombian city. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 4225-4242.
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8, 71-84.
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186.
- Sidiqui, P., Huete, A., & Devadas, R. (2016, July). Spatio-temporal mapping and monitoring of Urban Heat Island patterns over Sydney, Australia using MODIS and Landsat-8. In *2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)* (pp. 217-221). IEEE.
- Simwanda, M., Ranagalage, M., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2019). Spatial analysis of surface urban heat islands in four rapidly growing African Cities. *Remote Sensing*, 11(14), 1645.
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2119-2126.
- Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A., & Huang, J. (1988). Residential cooling loads and the urban heat island—the effects of albedo. *Building and environment*, 23(4), 271-283.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands; albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2).





- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971-2979.
- Tan, Z., Lau, K. K. L., & Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114, 265-274.
- Terjung, W. H., & LOUIE, S. S. (1973). Solar radiation and urban heat islands. *Annals of the Association of American Geographers*, 63(2), 181-207.
- Torok, S. J., Morris, C. J., Skinner, C., & Plummer, N. (2001). Urban heat island features of southeast Australian towns. *Australian Meteorological Magazine*, 50(1), 1-13.
- Voogt, J. (2007). How researchers measure urban heat islands. In United States Environmental Protection Agency (EPA), State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Effect, Urban Heat Island Webcasts and Conference Calls.
- Vukovich, F. M., 1983: An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St. Louis, Missouri, using HCMM satellite data. *J. Climate Appl. Meteor.* **22**, 560–571.
- Wan, Z. (2014). New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote sensing of Environment*, 140, 36-45.
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G. (2015). *MOD11A1 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006
- Wang, J. K., Wang, K. C., & Wang, P. C. (2007). Urban heat (or cool) island over Beijing from MODIS land surface temperature. *JOURNAL OF REMOTE SENSING-BEIJING-*, 11(3), 330.
- Wanner, H., & Hertig, J. A. (1984). Studies of urban climates and air pollution in Switzerland. *Journal of climate and applied meteorology*, 23(12), 1614-1625.
- Wong, N. H., & Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat international*, 29(3), 547-558.
- Xiao, H., Kopecká, M., Guo, S., Guan, Y., Cai, D., Zhang, C., Zhang, X., Yao, W., 2018. Responses of urban land surface temperature on land cover: a comparative study of Vienna and Madrid. *Sustainability* 10, 260. En la red: <https://doi.org/10.3390/su10020260>.
- Yang, J., Wang, Z., & Kaloush, K. E. (2013). Unintended consequences: A research synthesis examining the use of reflective pavements to mitigate the urban heat island effect.
- Yang, J., Wang, Z. H., & Kaloush, K. E. (2015). Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 830-843.



Zhang, D. L., Shou, Y. X., & Dickerson, R. R. (2009). Upstream urbanization exacerbates urban heat island effects. *Geophysical Research Letters*, 36(24).

Zhang, H., Qi, Z. F., Ye, X. Y., Cai, Y. B., Ma, W. C., & Chen, M. N. (2013). Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, 44, 121-133.

Zhang, P., Bounoua, L., Imhoff, M. L., Wolfe, R. E., & Thome, K. (2014). Comparison of MODIS land surface temperature and air temperature over the continental USA meteorological stations. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(2), 110-122.

## GLOSARIO – SIGLAS

Se listan a continuación las siglas, acrónimos y denominaciones técnicas relacionadas con la isla de calor urbana, y utilizadas en este estudio. Muchas de ellas son expresiones inglesas, que son las más extendidas en la literatura sobre el tema:

- **AEMET | Agencia Estatal de Meteorología**
- **BLHI | Boundary Layer Heat Island.** Capa límite urbana
- **CLC | Corine Land Cover.** Cobertura terrestre de Corine
- **CLHI | Canopy Layer Heat Island.** Palio urbano o capa bajo la cubierta urbana
- **CO<sub>2</sub> | Carbon dioxide.** Dióxido de carbono
- **COP 25 | XXV Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,** celebrada en Madrid, diciembre de 2019.
- **CORINE | Coordination of Information of the Environment.** Coordinación de Información sobre Medio Ambiente
- **EEA | European Environment Agency.** Agencia Europea de Medio Ambiente
- **GIS | Geographic Information System.** Sistema de Información Geográfica
- **LC | Land Cover.** Cobertura de usos del suelo (grado de sellado)
- **LST | Land Surface Temperature.** Temperatura de la superficie terrestre
- **LU | Land Use.** Usos del suelo
- **MODIS | Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer.** Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución
- **NASA | National Aeronautics and Space Administration.** Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
- **NDVI | Normalized Difference Vegetation Index.** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- **PNOA | Plan Nacional de Ortofotografía Aérea**
- **WHO / OMS | World Health Organisation.** Organización Mundial de la Salud
- **SUHI | Surface Urban Heat Island.** Superficie de la isla de calor urbana
- **UHI / ICU | Urban Heat Island.** Isla de calor urbana
- **UN / ONU | United Nations.** Organización de Naciones Unidas



## LISTADO DE PLANOS

Nº	NOMBRE DE PLANO	ESCALA
<b>IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO</b>		
001	Identificación y delimitación del área de estudio. Ciudad de Valencia y entorno	s.e.
<b>PLANEAMIENTO</b>		
002	Planeamiento municipal Valencia	1   45.000
<b>SUPERFICIE SELLADA</b>		
003	Superficie sellada según <i>Corpernicus Land Monitoring Service</i> 2015	1   130.000
004	Usos del suelo Corine <i>Land Cover</i> 2018	1   130.000
005	Superficie sellada según usos del suelo Corine <i>Land Cover</i> 2018	1   130.000
006	Superficie sellada municipio Valencia 2018. Usos del suelo Corine sobre ortofotografía 2018	1   50.000
<b>TEMPERATURAS SUPERFICIE TERRESTRE (LST) MODIS SATÉLITE AQUA/TERRA</b>		
007	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media invierno	1   130.000
008	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media invierno	1   130.000
009	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media invierno	1   130.000
010	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media invierno	1   130.000
011	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media primavera	1   130.000
012	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media primavera	1   130.000
013	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media primavera	1   130.000
014	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media primavera	1   130.000
015	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media verano	1   130.000
016	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media verano	1   130.000
017	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media verano	1   130.000

018	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media verano	1   130.000
019	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media otoño	1   130.000
020	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media otoño	1   130.000
021	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media otoño	1   130.000
022	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media otoño	1   130.000
023	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media anual	1   130.000
024	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> (MYD). Media anual	1   130.000
025	Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media anual	1   130.000
026	Temperatura nocturna de la superficie terrestre MODIS <i>Terra</i> (MOD). Media anual	1   130.000
<b>COMPARATIVAS Y SUPERPOSICIONES</b>		
027	Identificación de puntos singulares sobre ortofotografía 2018	1   185.000
028	Temperatura diurna de la superficie terrestre otoño MODIS <i>Aqua</i> (MYD) y ejes viares	1   475.000
029	Valencia ciudad. Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> . Media anual vs zonas verdes	1   40.000
030	Valencia ciudad. Temperatura diurna de la superficie terrestre MODIS <i>Aqua</i> . Media anual vs superficie sellada según usos	1   40.000

Tabla 13. Listado de planos